

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Телекомунікаційних систем

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Л.О. Уривський
«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

**на тему: «Дослідження впливу параметрів кабельного середовища на роботу
цифрових систем передачі з xDSL технологією»**

Виконав:
студент II курсу, групи ТС-71мп
Большаков Юрій Євгенійович _____

Керівник:
Доцент кафедри ТС
доцент Носков Вячеслав Іванович _____

Рецензент:
Незалежний експерт з телекомунікацій
к.т.н. Вахрушев Володимир Платонович _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Телекомунікаційних систем

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою
 Спеціальність (спеціалізація) – 172 «Телекомунікації та радіотехніка» (172.3620.1
 «Телекомунікаційні системи та мережі»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Л.О. Уривський

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Большакову Юрію Євгенійовичу

1. Тема дисертації «Дослідження впливу параметрів кабельного середовища на роботу цифрових систем передачі з xDSL технологією», науковий керівник дисертації Носков Вячеслав Іванович доцент кафедри ТС, доцент, затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації: 5 грудня 2018 року

3. Об'єкт дослідження кабельна мережа як середовище для передачі сигналів xDSL систем.

4. Предмет дослідження xDSL системи передачі.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

- огляд стандартів xDSL-технології;
- аналіз принципів побудови кабельних мереж;
- дослідження факторів, що впливають на передачу цифрових сигналів у мідному кабелю;
- дослідження потенціальних можливостей кабельних ліній для роботи SHDSL-систем;

- дослідження потенціальних можливостей кабельних ліній для роботи ADSL-систем;
- надання рекомендацій щодо правил відбору пар у багато парних міських кабелів для роботи xDSL-систем.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

Плакат №1 «Тема, мета та завдання магістерської дисертації»

Плакат №2 «Актуальність та постановка задачі»

Плакат №3 «Фактори, що впливають на роботу xDSL-систем»

Плакат №4 «Технології xDSL, що досліджуються»

Плакат №5. «Результати досліджень потенціальних можливостей xDSL-ліній»

Плакат №6 «Правила відбору пар у кабелі»

Плакат №7. «Висновки»

7. Орієнтовний перелік публікацій

1) Носков В.І., Большаков Ю.Є. Дослідження впливу параметрів кабельного середовища на роботу цифрових систем передачі за xDSL технологією – збірник матеріалів конференції «Проблеми телекомунікацій – 2018»

8. Дата видачі завдання 10 вересня 2017 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Пошук джерел інформації та їх систематизація	01.09.2017- 31.12.2017	
2	Огляд стандартів xDSL-технології	10.01.2018 - 29.02.2018	
3	Аналіз принципів побудови кабельних мереж	01.03.2018 – 30.05.2018	
4	Дослідження факторів, що впливають на передачу цифрових сигналів у мідному кабелю	01.06.2018 – 31.08.2018	
5	Дослідження потенціальних можливостей кабельних ліній для роботи SHDSL-систем.	01.09.2017 – 30.09.2018	
6	Дослідження потенціальних можливостей кабельних ліній для роботи ADSL-систем.	01.10.2018 – 31.10.2018	
7	Розробка рекомендацій щодо правил відбору пар у багато парних міських кабелів для роботи xDSL-систем.	01.11.2018 – 15.11.2018	
8	Вступ, висновки та оформлення роботи	16.11.2018 – 3.12. 2018	

Студент

Большаков Ю.Є.

Науковий керівник дисертації

Носков В.І.

РЕФЕРАТ

Обсяг магістерської дисертації складає 84 сторінки, зокрема 33 ілюстрації, 6 таблиць, 12 формул та 16 джерел інформації.

Актуальність теми. Актуальність теми пов'язана з поширеністю технології xDSL у мережах доступу. Системи xDSL працюють переважно по існуючій кабельній мережі на основі кабелю типу ТПП та знаходяться під впливом різних завад, насамперед це перехідні завади між декількома системами передачі, що працюють в одному кабелі. Тому актуальним є дослідження пропускної спроможності систем xDSL в таких умовах та надання рекомендацій щодо вибору пар кабелю.

Метою випускної кваліфікованої роботи є дослідження потенційних можливостей (максимальна пропускна спроможність кабельних ліній при певних відомих параметрах) кабельних ліній для роботи xDSL-систем та факторів, що впливають на передачу цифрових сигналів у мідному кабелю.

Відповідно до поставленої мети були сформульовані такі завдання:

- дослідження факторів, що впливають на передачу цифрових сигналів у мідному кабелю;
- дослідження потенціальних можливостей кабельних ліній для роботи SHDSL-систем;
- дослідження потенціальних можливостей кабельних ліній для роботи ADSL-систем;
- огляд правил відбору пар у багато парних міських кабелів для роботи xDSL-систем.

Об'єктом дослідження є кабельна мережа як середовище для передачі сигналів xDSL систем.

Предметом дослідження є xDSL системи передачі.

Проблематика. Намагання підвищити коефіцієнт використання пар кабелю для організації xDSL ліній доступу стикається з проблемою визначення пропускної спроможності цих ліній в умовах впливу перехідних завад, інтенсивність яких

залежить як від параметрів кабелю, так і від того які саме пари та у якій кількості використовуються.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційного дослідження оприлюднено в ході дванадцятої міжнародної науково-технічної конференції "ПРОБЛЕМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ" і десятої міжнародної науково-технічної конференції студентів та аспірантів «ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СИСТЕМ», 2018. (м. Київ)

Публікації. Основні положення і результати дисертаційної роботи знайшли своє відображення на Дванадцятій міжнародній науково-технічній конференції "ПРОБЛЕМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ" і десятій міжнародній науково-технічній конференції студентів та аспірантів «ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СИСТЕМ», 2018. (м. Київ).

Ключові слова: xDSL системи, пропускна здатність, перехідні завади, xDSLcalc, NEXT, FEXT.

ABSTRACT

The work contains 84 pages, 33 illustrations, 6 tables, 12 formulas and 16 sources.

Relevance of the topic. Relevance of the topic is related to widespread xDSL technology in access networks. XDSL systems work predominantly with existing cable networks based on telephony type of cable, which is under the influence of various obstacles, above all, the transitional obstacles between several transmission systems operating in the same cable. Therefore, it is relevant to study the throughput of xDSL systems in such conditions.

The purpose of the thesis is to investigate the potential capabilities (the maximum bandwidth of cable lines under certain known parameters) of cable lines for the operation of xDSL systems and the factors that influence the transmission of digital signals in copper cable.

In accordance with the stated goal, the following objectives were formulated:

- research of the factors influencing the transmission of digital signals in copper cable;
- investigation of potential possibilities of cable lines for work of SHDSL-systems;
- investigation of potential possibilities of cable lines for work of ADSL-systems;
- Review of the rules for selecting pairs in many twin city cables for xDSL-systems.

The object of research is cable network as an environment for the transmission of signals xDSL systems.

The subject of research is the xDSL transmission system.

Problems. Attempts to increase the use of cable pairs for the organization of xDSL lines of access are faced with the problem of determining the bandwidth of these lines under the conditions of transitional interference, the intensity of which depends on both the parameters of the cable, and on what pairs and in what amounts are used.

Approbation of the results of the dissertation. The main results of the dissertation research was published during the twelfth international scientific and technical conference "PROBLEMS OF TELECOMMUNICATIONS" and the tenth international scientific and technical conference of students and postgraduates "PERSPECTIVES FOR THE DEVELOPMENT OF INFORMATION AND TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES AND SYSTEMS", 2018. (Kyiv)

Keywords: xDSL system, bandwidth, interruptions, xDSLcalc, NEXT, FEXT.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	11
ВСТУП.....	14
РОЗДІЛ 1. СТАНДАРТИ xDSL-ТЕХНОЛОГІЇ.....	15
1.1 HDSL	15
1.2 SHDSL, SHDSLbis, extSHDSLbis	16
1.3 ADSL, ADSL2, ADSL2+	20
1.4 VDSL, VDSL2	24
1.5 G.Fast	25
1.5.1 Специфікації G.Fast	26
1.5.2 Поширення G.Fast у світі	28
1.5.3 Перспективи	29
1.6 Висновки до розділу 1	30
РОЗДІЛ 2. ІНФРАСТРУКТУРА КАБЕЛЬНИХ СИСТЕМ	31
2.1 Номенклатура, конструкція, первинні та вторинні параметри міських кабелів	31
2.2 Номенклатура, конструкція, первинні та вторинні параметри магістральних кабелів	35
2.3 Принцип побудови міської кабельної мережі.....	38
2.4 Магістральні кабельні лінії	39
2.5 Висновки до розділу 2	39
РОЗДІЛ 3. ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПЕРЕДАЧУ ЦИФРОВИХ СИГНАЛІВ ПО МІДНИМ КАБЕЛЯМ	41
3.1 Амплітудно-частотна характеристика	41
3.2 Перехідні завади між парами кабелю	41
3.2.1 Асиметрія лінії	47
3.3 Відлуння сигналів на неоднорідностях.....	48
3.4 Міжсимвольна інтерференція	48
3.5 Зовнішні завади	50
3.5.1 Електростатичне екранування	50
3.5.2 Магнітостатичне екранування	51
3.5.3 Електромагнітне екранування	51

3.6 Висновки до розділу 3	52
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТЕНЦІАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ ДЛЯ РОБОТИ xDSL-СИСТЕМ	53
4.1 Залежність пропускної спроможності кабельного середовища від довжини лінії для стандартів SHDSL і ADSL та типів кабелів з урахуванням тільки теплових шумів.....	55
4.2 Залежність пропускної спроможності кабельного середовища від довжини лінії для стандартів SHDSL і ADSL та типів кабелів з урахуванням перехідних завад	59
4.3 Порівняння змін швидкостей SHDSL і ADSL при різних параметрах	67
4.4 Висновки до розділу 4	70
РОЗДІЛ 5. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПІДГОТОВКИ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ ДЛЯ РОБОТИ xDSL-СИСТЕМ.....	71
5.1 Перелік підготовчих робіт та рекомендації, щодо їх організації.....	71
5.2 Методи покращення характеристик кабельних ліній	73
5.3 Правила відбору пар у багатопарних міських кабелів для роботи xDSL- систем	75
5.3.1 Відбір пар в кабелях за результатами вимірювань перехідного загасання на ближньому кінці.....	76
5.3.2 Відбір пар в кабелях з повивною побудовою сердечника	77
5.3.3 Відбір пар в кабелях з пучковою побудовою сердечника	79
5.4 Висновки до розділу 5	81
ВИСНОВКИ.....	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	83

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

xDSL	Digital subscriber line - цифрова абонентська лінія
ТПП	Тип кабеля для міських мереж
HDSL	High Data Rate Digital Subscriber Line - високошвидкісна цифрова абонентська лінія
ISDN	Integrated Services Digital Network - цифрова мережа з інтегрованими службами
PAM	Pulse Amplitude Modulation – амплітудно-імпульсна модуляція
2B1Q	Two-binary, one-quaternary - лінійний чотирьохрівневий код в якому пара двійкових символів кодується в один з 4-х рівнів сигналу
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line – асиметрична цифрова абонентська лінія
SHDSL	Single-pair High-speed Digital Subscriber Line – однопарна високошвидкісна цифрова абонентська лінія
ANSI	American National Standards Institute – Американський національний інститут стандартів
ETSI	European Telecommunications Standards Institute - Європейський інститут телекомунікаційних стандартів
ITU-T	International Telecommunication Union - Міжнародний союз електрозв'язку
TC-PAM	Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation - амплітудно-імпульсна модуляція з ґратковим кодуванням
DMT	Discrete Multi Tone - дискретна багаточастотна модуляція
CAP	Carrierless Amplitude-Phase modulation – амплітудно-фазова модуляція з подавлення несучої

HDB3	High density bipolar of order 3 – один із способів лінійного кодування
ІКМ	Імпульсно кодова модуляція
VDSL	Very high speed Digital Subscriber Line - Супершвидкісна цифрова абонентська лінія
АТС	Автономна телефона станція
SRA	Seamless Rate Adaptation – фонові адаптація швидкості
BBF	Broadband Forum
FAST	Fast access to subscriber - Швидкий доступ до призначених для користувача терміналів
TDD	Time Division Duplex - Дуплексна передача з тимчасовим поділом
PMA	Persistent Management Agent – постійний агент з управління
ONOS	Open Network Operating System – відкрита мережа операційної системи
СК	Симетричний кабель
КК	Коаксіальний кабкль
ОК	Оптичний кабель
НЧ	Низькочастотний кабель
ВЧ	Високочастотний кабель
РЧ	Радіочастотний кабель
АЛ	Абонентська лінія
ЗЛ	З'єднувальна лінія
МК	Магістральний кабель
ЗК	Зоговий кабель
КМ	Коаксільний магістральний кабель

МКТ	Малогабаритний коаксіальний телефонно-телевізійний кабель
БК	Однокоаксіальний кабель
ВОЛЗ	Волоконно-оптична лінія зв'язку
NEXT	Near End Crosstalk - перехідне загасання на ближньому кінці
FEXT	Far End Crosstalk - перехідне загасання на дальньому кінці
FDM	Frequency-Division Multiplexing – частотний поділ сигналів
ACR	Attenuation to Crosstalk Ratio - відношення затухання сигналу до ослаблення перехресних перешкод
ELFEXT	Equal Level Far End Crosstalk - рівне перехідне загасання на дальньому кінці
LCL	Longitudinal Conversion Loss - величина загасання поздовжньої асиметрії
MCI	Міжсимвольна інтерференція
ФЧХ	Фазо-частотна характеристика

ВСТУП

Актуальність теми пов'язана з поширеністю технології xDSL у мережах доступу. Системи xDSL працюють переважно по існуючій кабельній мережі на основі кабелю типу ТПП та знаходяться під впливом різних завад, насамперед це перехідні завади між декількома системами передачі, що працюють в одному кабелі. Тому актуальним є дослідження пропускної спроможності систем xDSL в таких умовах та надання рекомендацій щодо вибору пар кабелю.

Намагання підвищити коефіцієнт використання пар кабелю для організації xDSL ліній доступу стикається з проблемою визначення пропускної спроможності цих ліній в умовах впливу перехідних завад, інтенсивність яких залежить як від параметрів кабелю, так і від того які саме пари та у якій кількості використовуються.

Об'єкт дослідження: Кабельна мережа як середовище для передачі сигналів xDSL систем.

Предмет дослідження: xDSL системи передачі.

РОЗДІЛ 1. СТАНДАРТИ xDSL-ТЕХНОЛОГІЇ

1.1 HDSL

Стандарт HDSL заснований на стандарті IDSL, Концепція HDSL розроблена в США. Розробники намагалися підвищити тактову частоту доступу до ISDN, щоб побачити, наскільки далеко і швидко можуть працювати системи високошвидкісної передачі даних. Дослідницька робота привела до дивовижного відкриття. Виявляється, що навіть проста 4-рівнева амплітудно-імпульсна модуляція PAM дозволяє працювати на швидкостях до 800 кбіт / с при цілком прийнятній довжині лінії, а використання в такті передачі трьох пар абонентського кабелю дозволило підвищити швидкість до швидкості первинного доступу, забезпечуючи передачу потоку T1 (1,544 Мбіт / с) або E1 (2,048 Мбіт / с).[1] Розвиток цифрових способів обробки сигналу DSP на початку 90-х років привели до створення HDSL. Ця технологія поєднувала в собі лінійне кодування 2B1Q і складні алгоритми ехоподавлення. Перші варіанти HDSL, що працюють по двох парах, були створені в США і швидко витіснили старі цифрові системи, які реалізують передачу потоку T1 зі швидкістю 1,544 Мбіт / с і мали робочу дальність трохи більше 1 км. Це сталося завдяки тому, що HDSL, забезпечуючи більшу дальність (3,5 км на дроті 0,4 мм), дозволила відмовитися від регенераторів і істотно знизити витрати на монтаж та експлуатацію нововведених ліній.[1]

В Європі набули поширення варіанти HDSL, що забезпечують передачу потоку E1 (2048 кбіт / с). Спочатку з'явився варіант, який для отримання більшої швидкості при тій же дальності використовував три кабельних пари.(рис. 1.1) При цьому швидкість передачі по кожній з них була та ж, що і в американського варіанту (748 кбіт / с). Потім стандартизований двопарний варіант, у якого швидкість по кожній з пар вище (1168 кбіт / с).[1]

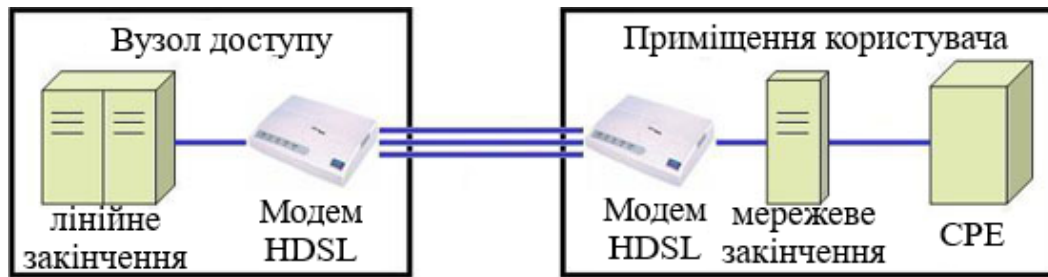


Рисунок 1.1 Концепція HDSL

Устаткування HDSL в основному призначено для застосування в корпоративних мережах. Відсутність підтримки аналогової телефонної лінії компенсується можливістю передачі мови в цифровому вигляді через інтерфейси E1.[1]

1.2 SHDSL, SHDSLbis, extSHDSLbis

SHDSL (Single-pair High Speed Digital Subscriber Line) - симетрична високошвидкісна цифрова абонентська лінія, найбільш сучасний тип технології DSL, націлений насамперед на забезпечення гарантованої якості обслуговування, тобто при заданій швидкості і дальності передачі даних забезпечити рівень помилок не гірше 10^{-7} навіть в найнесприятливіших шумових умовах.[2]

Цей стандарт є розвитком HDSL, оскільки він дозволяє передавати цифровий потік по одній парі.[2]

Технологія SHDSL має кілька важливих переваг у порівнянні з HDSL. Перш за все, це кращі характеристики (щодо граничної довжини лінії і запасу щодо шумів) за рахунок застосування більш ефективного коду, механізму попереднього кодування, більш досконалих методів корекції і поліпшених параметрів інтерфейсу. Ця технологія спектрально сумісна і з іншими технологіями DSL. Через те що нова система застосовує більш ефективний лінійний код в порівнянні з HDSL, то при будь-якій швидкості сигнал SHDSL займає більш вузьку смугу частот, ніж відповідний тій же швидкості сигнал HDSL. Тому, створювані системою SHDSL, перешкоди для інших систем DSL мають меншу потужність порівняно з перешкодами від HDSL. Спектральна щільність сигналу SHDSL має

таку форму, що він виявляється спектрально сумісний з сигналами ADSL. В результаті цього, в порівнянні з однопарним варіантом HDSL, SHDSL дозволяє підвищити на 35-45% швидкість передачі при тій же дальності або збільшити дальність на 15-20% при тій же швидкості.[2]

Для організації доступу по SHDSL необхідна виділена лінія (фізична двопровідна лінія). Пропускна здатність при підключенні по SHDSL визначається протяжністю конкретної лінії зв'язку, технічними характеристиками і конкретною маркою модему, в середньому досягнення повної швидкості можливо на двопровідних лініях протяжністю 1,5 км. при діаметрі мідного дроту близько 0,4 мм. Технологія SHDSL забезпечує симетричний трафік по одній парі в діапазоні швидкостей: від 192 Кбіт / с до 2.3 Мбіт / с, а по подвійній парі - від 384 кбіт / с до 4,6 Мбіт / с.[2]

SHDSL дає можливість об'єднати розрізнені локальні мережі в єдину корпоративну мережу, що дозволяє значно економити час і кошти при обміні інформацією між філіями підприємства, забезпечуючи достатній рівень інформаційної безпеки корпоративної мережі. SHDSL дозволяє організувати відеоконференції, коли потрібно підтримувати однакові потоки передачі даних в обох напрямках. Одним з основних переваг технології SHDSL є можливість використання вже існуючих (прокладених і реально працюючих) мідних пар проводів абонентських телефонних ліній, яких є по всьому світу величезна кількість.[2]

SDSL -Symmetric Digital Subscriber Line – симетрична йфрова абонентська лінія. Так само як і технологія HDSL, технологія SDSL гарантує симетричну передачу даних зі швидкостями, відповідними швидкостям T1 / E1 ліній, але технологія SDSL має дві значні відмінності. По-перше, застосовується тільки одна кручена пара проводів, а по-друге, максимальна відстань передачі обмежена 3 км. Технологія забезпечує необхідні переваги для бізнес представників: високошвидкісний доступ в мережу Інтернет, організація багатоканального телефонного зв'язку (технологія VoDSL) і т.п[2]

SHDSL - G.shdsl, Singlepair Highspeed Digital Subscriber Line - високошвидкісна симетрична цифрова абонентська лінія по 1 парі. Ця технологія дозволяє збільшити довжину DSL лінії до 20 км (з регенераторами) у порівнянні зі стандартами, що використовуються в даний час (за якими гранична довжина абонентської лінії становить приблизно 5 - 6 км). Вона забезпечує передачу даних по 1 парі зі швидкістю 192 Кбіт / с - 2,320 Мбіт / с або по 2 парам зі швидкістю в 2 рази більшою.[2]

На сьогоднішній день існує три основні категорії стандартів SHDSL: ANSI (T1E1.4 / 2001-174) для Північної Америки, ETSI (TS +101524) для Європи і ITU-T (G. 991.2) у всьому світі. Всі ці стандарти були опубліковані і є стійкими. Всі стандартні різновиди ADSL (ITU G.992.1, G.992.2, і ANSI T1.413-I2) побудовані на одній і тій же методиці - дискретної многочастотної модуляції (Discrete Multi Tone - DMT). Перш за все SHDSL - міжнародний стандарт. Таким чином стандарт визначається, як спеціальні умови цифрової петлі, які відповідають регіональним певним додатковим послугам (наприклад T1). Однак більшість обладнання підтримує всі міжнародні вимоги.[2]

Технологія TC-PAM лежить в основі першого всесвітнього стандарту ITU на високошвидкісну симетричну передачу по одній парі - G.shdsl. Вона дозволяє вибирати лінійну швидкість в діапазоні від 144 Кбіт / с до 2,3 Мбіт / с (крок 8 Кбіт / с), має більш вузький частотний спектр, ніж її попередники - 2B1Q і CAP. Таким чином, забезпечується більша дальність роботи і електромагнітна сумісність з іншими DSL-технологіями, такими як ISDN, ADSL, G.lite і аналоговими системами типу ICM 15x2 (на відміну від HDB3 і 2B1Q). Тип кодування TC-PAM має найкращі на сьогоднішній день характеристиками дальності і електромагнітної сумісності при роботі на однопарних абонентських лініях. TC-PAM розшифровується як Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation (імпульсна амплітудна модуляція з ґратковим кодуванням). Суть даного методу кодування полягає в збільшенні числа рівнів (кодових станів) з 4 (як в 2B1Q) до 16 і застосуванні спеціального механізму корекції помилок.[2]

В системах передачі SHDSL (Рекомендація MCE-T G.991.2) Згорткове кодування застосовується в сигнально-кодових конструкціях спільно з амплітудно-імпульсною модуляцією (AIM). Цей вид сигнально-кодових конструкцій отримав назву TSPAM - Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation (амплітудно-імпульсна модуляція з ґратковим кодуванням). Для прикладу розглянута 8-рівнева TSPAM, що використовує згортковий код зі швидкістю кодування 2/3.[3]

Присвоєння восьмирічних AIM-сигналів переходам решітки здійснюється згідно з правилами поділу Унгербоіка (рис. 1.2). Присвоєння сигналів, а також кодові слова, присвоєні схемою кодера, показані на рис. 1.2. Найбільш незпівставна пара сигналів (з відстанню $d_2 = 8$) була присвоєна найвразливішим (в плані появи помилок) паралельним переходам. Крім того, як впливає із правил Унгербоіка, сигнали з наступною найбільшою відстанню ($d_1 = 4$) були присвоєні переходам, які виходять або входять в один і той самий стан.[3]

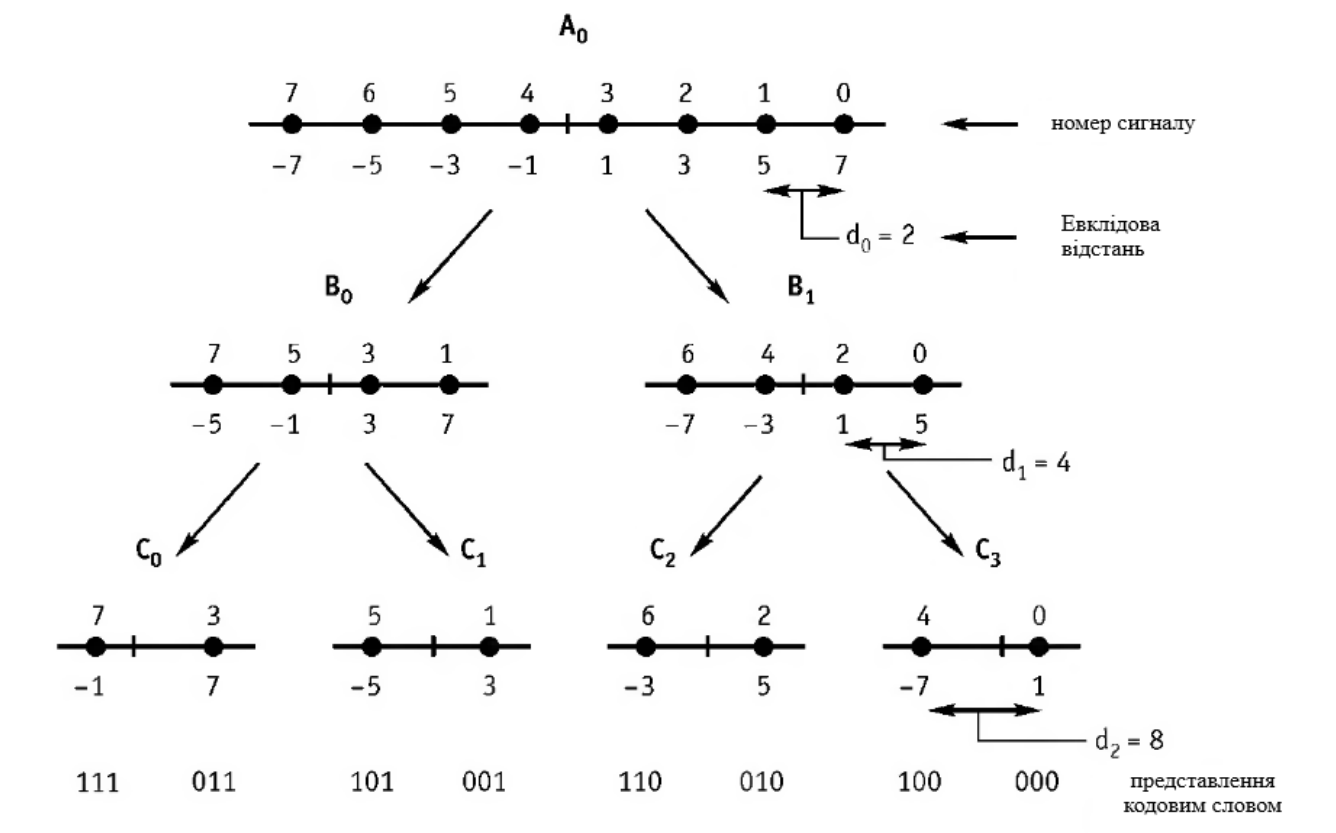


Рисунок 1.2 Поділ Унгербоіка сигналів AIM-8

Швидкість передачі даних з використанням SHDSL обладнання може досягати 2,3 Мбіт / с по одній парі (для «звичайних» DSL з'єднань - 1,5 Мбіт / с).

Більш того, стверджується, що дальність, що відповідає новому стандарту з'єднань, на 30% вище, ніж для DSL, а оскільки стандарт підтримує повторювачі, затримка для широкосмугових додатків (таких, як голосовий зв'язок і потокова передача мультимедіа) повинна бути дуже низькою. Ця технологія дозволяє збільшити довжину лінії DSL до 20 км (з регенераторами) в порівнянні зі стандартами, використовуваними в даний час (за якими гранична довжина абонентської лінії становить приблизно 5 - 6 кілометрів). SHDSL забезпечує передачу даних по одній парі зі швидкістю 192 Кбіт / с - 2,320 Мбіт / с або по 2 парам зі швидкістю в 2 рази більшою. Застосування ехоподавлення забезпечує повністю дуплексний зв'язок при всіх значеннях швидкості.[2]

SHDSL технологія дозволяє здійснювати як високошвидкісний доступ в Інтернет, так і швидку і якісну передачу великої кількості інформації. Також, за допомогою SHDSL технології можливо не тільки отримувати інформацію з Інтернет, але і користуватися IP-телефонією (міський, міжміський, міжнародний зв'язок) і відеоконференцзв'язком.[2]

SHDSL bis (SHDSL (bis) SHDSL.bis), - це розширення рекомендацій SHDSL ITU-T і ETSI, що описують симетричне з'єднання DSL.. SHDSL bis обладнання використовує TCPAM-16 і TCPAM-32 (в режимі G.SHDSL.bis) модуляцію, що дозволяє підвищити швидкості передачі інформації до 5696 Kbps (двопровідна модель SHDSL bis модему / маршрутизатора) і до 11.392Mbps (чотирьохпровідна модель SHDSL bis модему / маршрутизатора), а також знизити рівень шумів.[2, 4]

1.3 ADSL, ADSL2, ADSL2+

Технології ADSL і VDSL стрімко розвиваються. Починаючи з 1999 року, коли була прийнята Рекомендація MCE-T G.992.1 (ADSL), стандартизовано 5 типів систем ADSL і 2 типа систем VDSL.

Асиметрична цифрова абонентська лінія ADSL (Asymmetric DSL) відповідно до Рекомендації MCE-T G.992.1 забезпечує швидкість передачі до 6,144 Мбіт / с в низхідному напрямку і до 640 кбіт / с у висхідному напрямку. Устаткування більшості виробників забезпечує швидкість передачі до 8 Мбіт / с в

низхідному напрямку і до 1 Мбіт / с у висхідному напрямку. Асиметричність швидкості передачі в комплексі з постійним встановленим з'єднанням (коли відсутня необхідність кожен раз набирати телефонний номер і очікувати встановлення з'єднання) робить технологію ADSL ідеальною для організації доступу до мережі Інтернет. Технологія ADSL дозволяє зберегти телефонний зв'язок шляхом використання частотних розділювачів(спліттерів) одного на АТС і другого в приміщенні користувача. До одного входу спліттера в приміщенні користувача підключається аналоговий телефонний апарат, а до іншого – ADSL-модем, який в залежності від реалізації може виконувати такі ж функції комутатора, маршрутизатора або моста. При цьому робота ADSL-модема не шкодить функціонуванню традиційного телефонного зв'язку, що працює незалежно від того, чи функціонує канал ADSL. Примітка 1. У Додатку Н до Рекомендації MCE-T G.992.1 описаний симетричний варіант ADSL, що забезпечує швидкість передачі від 192 до 1600 кбіт / с як в низхідному, так і у висхідному напрямках. Прогнозовано використання повністю цифрового режиму передачі, коли використовуються несучі з частотами $n \times 4,3125$ кГц, де $n = 1, 2, \dots, 5$. Примітка 2. У Додатку 1 Зміни 1 від 2003 р. до Рекомендації MCE-T G.992.1 фактично описаний прототип ADSL2 +, забезпечує швидкість передачі до 24 Мбіт / с в низхідному напрямку.[3]

Асиметрична цифрова абонентська лінія ADSL G.Lite у відповідності до Рекомендації MCE-T G.992.2 це варіант технології ADSL, що забезпечує швидкість передачі в низхідному напрямку до 1,5 Мбіт / с, а у висхідному напрямку до 512 кбіт / с. Устаткування технології G.Lite є більш простим в установці і дешевшим, ніж ADSL. Одним із шляхів зпрощення встановлення модемів ADSL G.Lite стало введення високочастотної частини спліттера в корпус модемів, що позбавило від необхідності встановлення зовнішнього спліттера (звідси і назва Splitterless ADSL (ADSL без спліттера)).[3]

Асиметрична цифрова абонентське лінія ADSL2 відповідно рекомендації MCE-T G.992.3 є вдосконаленою версією ADSL. Технологія ADSL2 забезпечує швидкість передачі в низхідному напрямку до 8 Мбіт / с, а у висхідному напрямку

до 800 кбіт / с. Устаткування більшості виробників забезпечує швидкість передачі до 12 Мбіт / с у нізхідному напрямку і до 1 Мбіт / с у висхідному напрямку. Збільшення швидкості передачі в порівнянні з ADSL, відповідно до Рекомендації G.992.1, обумовлено внесенням цілого ряду описаних нижче вдосконалень.

- 1) Більш гнучкої і ефективної побудови кадру дозволяє управляти кількістю службової інформації (від 4 до 64 кбіт / с), тобто зменшити її обсяги, а значить збільшити швидкість передачі корисної інформації, що особливо важливо на довгих лініях.
- 2) Структура кадрів дозволяє більш ефективного використовуват вийграш за рахунок кодування Ріда-Соломона.
- 3) Оновлені процедури діагностики лінії, визначені для виявлення моніторингу і несправностей характеристик ліній ADSL2 під час роботи: приймачі ADSL2 можуть здійснювати вимірювання рівня шуму в лінії, загасання і відношення сигнал/шум на обох кінцях лінії. При цьому вимірювання цих параметрів можуть здійснюватися навіть при неможливості встановлення нормального з'єднання по даній лінії.
- 4) Додана підтримка однобітових кодових сузір'їв, що дозволяє отримати велику дальність роботи системи на малих швидкостях.
- 5) Поліпшені процедури управління передачею. Наприклад, система може адаптувати швидкість передачі даних в режимі реального часу. Це нововведення, зване фоновою адаптацією швидкості (SRA - Seamless Rate Adaptation), дозволяє системам ADSL2 змінювати пропускну здатність передачі даних під час роботи без розривань зв'язку або бітових помилок. Для цього система діагностує переміни характеристик каналу зв'язку (наприклад, коли місцева АМ-радіостанція виключає свій передавач на ніч) і незаметно для користувача змінює швидкість передачі.
- 6) Додана функція регулювання споживаної потужності, що дозволяє системі знаходитися в стійкому режимі L0 (режимі постійної передачі корисної інформації), режимі низького споживання потужності L2

(споживана потужність залежить від характеру трафіку) або в режимі холостого ходу L3 (сплячий режим, коли інформація тривалий час не передається).[3]

Асиметрична цифрова абонентська лінія ADSL2 без спліттера, відповідно до Рекомендації G.992.4, - таке покоління технологій ADSL G.Lite. У порівнянні з технологією ADSL G.Lite вона має ряд вдосконалень:

- поліпшена підтримка цифрових служб і передачі голосу;
- поліпшена можливість зміни характеристик лінії «находу»;
- вдосконалені процедури управління спектром передачі;
- додана підтримка однобітових кодових сузір'їв;
- доданий повністю цифровий режим роботи.[3]

Асиметрична цифрова абонентська лінія ADSL2 +, що відповідає Рекомендації G.992.5, забезпечує швидкість передачі в низхідному напрямку до 16 Мбіт / с, а у висхідному – до 800 кбіт / с. Устаткування ADSL2 + більшості виробників забезпечує швидкість передачі у висхідному напрямку до 1 Мбіт / с, а в низхідному напрямку - до 24 Мбіт / с. Таке збільшення швидкості передачі стало можливим за рахунок майже двократного (до 2,208 МГц) збільшення смуги частот, використовуваної для передачі в низхідному напрямку.[3]

Основна різниця ADSL2 від ADSL2+:

- підтримка до трьох кодових слів коду Ріда-Соломона на один DMT-символ;
- вдосконалені процедури управління спектром при встановленні з'єднання і під час передачі інформації;
- поліпшена підтримка послуг, що вимагають високих швидкостей передачі даних в низхідному напрямку (наприклад, широкосмугові розважальні послуги).

Примітка. Прототип ADSL2 +, що забезпечує швидкість передачі до 24 Мбіт / с в низхідному напрямку, фактично описаний в Додатку 1 Зміни 1 від 2003 р. до Рекомендації MCE-T G.992.1.[3]

1.4 VDSL, VDSL2

Супершвидкісна цифрова абонентська лінія VDSL(Very high speed Digital Subscriber Line), відповідно до Рекомендації MCE-T G.993.1, забезпечує в асиметричному варіанті швидкість передачі в низхідному напрямку до 51 Мбіт / с, а у висхідному - до 33 Мбіт / с. У симетричному варіанті швидкість передачі в обох напрямках становить до 33 Мбіт / с. Така висока швидкість передачі досягається тільки на невеликих відстанях: близько 300 м при швидкості 51 Мбіт / с і близько 1,8 км при швидкості 13 Мбіт / с. Технологія VDSL може використовуватися з тими ж цілями, що і ADSL, а також для передачі сигналів телемовлення високою чіткістю (HDTV), відео за запитом і т.д.[3]

Супершвидкісна цифрова абонентська лінія VDSL2, відповідно до Рекомендації MCE-T G.993.2, забезпечує сумарну швидкість передачі в низхідному і висхідному напрямках до 200 Мбіт / с.

Основна різниця VDSL2 від VDSL:

- визначені плани частот до 30 МГц, що дозволяє отримати сумарну швидкість передачі до 200 Мбіт / с (швидкість передачі в низхідному напрямку плюс швидкість передачі у висхідному напрямку);
- визначено більшу кількість профілів для підтримки широкого спектру сценаріїв встановлення (наприклад, на АТС, в розподільчому ящику з підведеною до нього оптоволоконну лінію, в будівлі абонента і т.п.);
- збільшена до 20,5 дБм максимальна потужність передачі в низхідному напрямку;
- регламентована обов'язкова підтримка гратчастого кодування;
- поліпшені процедури ініціалізації;
- регламентована обов'язкова підтримка всіх типів сигнальних сузір'їв для передачі від 1 до 15 бітів протягом тактового інтервалу;
- підтримка широкого спектру параметрів тестування (по аналогії з ADSL2);

- поліпшена побудова кадру, основана на ADSL2, з вдосконаленим службовим каналом;
- поліпшені можливості надлишкового кодування і перемежування, розширено спектр налаштувань кодувального пристрою коду Ріда-Соломона і пристрої перемежування;
- підтримка повністю цифрового режиму роботи.[3]

1.5 G.Fast

Біля витоків створення G.fast стояли найбільші ADSL-оператори Північної Америки і Західної Європи. Учасники ринку намагалися знайти спосіб розширення ємності мереж для пропуску все зростаючого трафіку. Існуючі ADSL і VDSL мережі досягли свого технологічного піку. Поява IPTV, OTT-сервісів і зростання відеоконтенту тільки погіршували це положення. Технологія G.fast - це можливість модернізації існуючих мідних комунікацій без капітальних витрат на створення нової інфраструктури при підключенні послуг зв'язку в багатоквартирних будинках і котеджних селищах. Крім того, G.fast дозволяє оператору розширювати зону охоплення гігабітним доступом на об'єкти, які не можуть бути економічно або технічно реалізовані традиційним оптоволоконним шляхом.[5]

Фактично G.fast дозволяє перетворити DSL-мережі в цілком конкурентні в порівнянні з оптичними. Приріст швидкості до теоретичної межі в 1 гігабіт на секунду означає, що користувачі такого інтернету зможуть дивитися потокове відео з роздільною здатністю Ultra HD одночасно на декількох пристроях і навіть вище без вимушеного очікування завантаження контенту. З 2012 року під егідою Міжнародного союзу електрозв'язку (ITU-T) і Broadband Forum (BBF) почалися дослідницькі роботи. Найактивнішу участь в роботах брали оператори і найбільші виробники телекомунікаційного обладнання.[5] У розробці стандарту брало участь кілька робочих груп. Робоча група Q4 дослідницької комісії Study Group 15 ITU-T (Q4 / 15) займалася аспектами прийомопередатчиків. Broadband Forum працював по архітектурним аспектам, а робоча група Європейського інституту

телекомунікаційних стандартів ETSI TM6 - з питань так званого "зворотного живлення" Reverse powering. До досліджень залучалися виробники обладнання: Calix, Alcatel-Lucent і Huawei. Досвідчені зони G.fast були розгорнуті на мережах операторів Deutsche Telekom в Німеччині, British Telecom в Великобританії, Orange у Франції. При цьому лідером по впровадженню G.fast в діючих комерційних мережах операторів є компанія Calix. Наприклад, найбільшим на сьогоднішній день в США впровадженням технології G.Fast є інсталяція Calix в CenturyLink.[5]

1.5.1 Специфікації G.Fast

В кінці 2014 року було представлено перші специфікації стандарту G.fast - G.9700 і G.9701 "Fast access to subscriber terminals (FAST) - Power spectral density specification" - "Швидкий доступ до призначених для користувача терміналів - специфікації щільності спектральної потужності". Стандарт визначив методи мінімізації інтерференції обладнання з широкомовними сигналами, подібними FM-радіо. Фактично, G.fast пропонує вирішення проблеми "останньої милі" на існуючих телефонних лініях зв'язку з мінімумом витрат. Варто відзначити, що G.fast співвідноситься з концепцією побудови мереж fibro-to-the distribution-point (FTTdp), яка має на увазі підведення оптоволоконних кабелів до кінцевої точки розповсюдження - мідних ліній. Іншими словами, G.fast реалізує в собі можливість підключення широкого Uplink по оптоволокну і кінцевих користувацьких вузлів по існуючих телефонних лініях.[5] При цьому для мідних ліній характерно залежність від шумових перешкод. Рівень перешкод збільшується з ростом довжини відводу, а швидкість передачі даних падає. Оскільки довжина відводу в операторських мережах зазвичай не перевищує 400 м, сумарний вплив мідної лінії через підвищення загасання і рівня перешкод не перевищує 9 дБ, що призводить до зниження швидкості передачі на величину до 6 Мбіт / с для ADSL2 + і до 20 Мбіт / с для VDSL2. Для боротьби з перешкодами використовується технологія Vectoring, яку можна порівняти з роботою системи шумозаглушення в навушниках.[5]

Для використання "векторінга" необхідно враховувати кількість кабелів в загальній розводці. Чим більше кабелів, тим вище загальний рівень перешкод. Для аналізу в цьому випадку використовується зовнішній процесор, який вираховує показники сигнал-шум і на підставі даних налаштовує роботу "векторінга". У G.fast аналіз відбувається автоматично. У G.fast інтегровані нові алгоритми кодування інформації, а також використовуються технології зменшення шумових перешкод у передачі сигналу і постійно працює Vectoring, який дозволяє передавати дані без втрати швидкості на відстані до 400 м. Раніше технології придушення перешкод були доступні тільки на обраних моделях обладнання DSL, для G.fast це своєрідний стандарт.[5] Швидкість передачі даних в G.fast залежить від опору мідної лінії, яке, в свою чергу, залежить від довжини, перетину і фізичних властивостей кабелю. Стандарт G.fast очікує прийняття як мінімум двох нових поправок. Одна з них дозволить підвищити потужність передачі з 4 дБ до 8 дБ, друга - підвищить інформаційну щільність на піднесучій (з 12 біт до 14 біт). Третя поправка принесе розширення спектра роботи G.fast зі 106 МГц до 212 МГц, тим самим частота збільшиться в два рази.[5]

Використовувана смуга частот - від 0 до 106 МГц (на відміну від VDSL2, де практично використовувана смуга становить 17 МГц). Використовувані параметри DMT модуляції: число піднесучих 2048, смуга 51,75 кГц на кожну поднесучу, інформаційна щільність передачі від 0 до 12 біт / поднесуча. Дуплексная передача з тимчасовим поділом Time Division Duplex (TDD) дозволяє варіювати коефіцієнтом асиметрії DS / US (Downstream / Upstream), підтримувати стан з низькою потужністю живлення, узгоджувати пропускну здатність зі споживанням потужності живлення.[5]

Варто також відзначити, що в стандарті, прийнятому ITU, закладено кілька статичних коефіцієнтів. Наприклад, 80/20, 50/50, 90/10. Це розподіл смуги "вниз" і "вгору". В даний час існують реалізації, які підтримують режим роботи з динамічним вибором коефіцієнтів асиметрії. Прикладом цього є рішення компанії Calix. Устаткування вендора дозволяє отримати переваги перед обладнанням інших розробників у вигляді динамічної зміни коефіцієнтів DS / US залежно від

превалювання трафіку. У разі завантаження даних з інтернету автоматично розширюється downstream, а в разі передачі даних в хмару - upstream. Цей варіант дозволяє оператору давати віртуальну сумарну пропускну здатність в 1 Гбіт / с, яка в залежності від навантаження ділиться на вхідний і вихідний трафік в автоматичному режимі.[\[5\]](#)

Варто зауважити, що G.fast є не тільки стандартом, що поліпшує фізику передачі даних, він включає в себе значний блок управління. Так, в специфікаціях G.fast прописані алгоритми управління кінцевими пристроями SDN, їх взаємодії один з одним через віртуальні контролери PMA і PMAA (Persistent Management Agent і Persistent Management Agent Aggregation). Яскравим прикладом впровадження названих підходів є операційна система AXOS від компанії Calix, яка використовує протоколи NETCONF і YANG для управління кінцевим обладнанням. Операційна система розвивається спільно з консорціумом ONOS (Open Network Operating System) і OpenDaylight, що займаються розробками SDN-контролерів. Серед рішень вендора є віртуальна платформа управління абонентськими пристроями Calix Consumer Connect, яка з хмари дозволяє управляти комутаторами і SDN-котроллерами.[\[5\]](#)

1.5.2 Поширення G.Fast у світі

DSL-оператори в різних країнах світу не без інтересу стежать за розвитком специфікацій G.fast і чекають появи кінцевого обладнання. Але поки пропозицій небагато, а реально функціонуючого на мережах і того менше. В даний час лідером по розробкам специфікацій G.fast, виробництва кінцевого обладнання, програмного забезпечення та клієнтського досвіду є компанія Calix. Станом на літо 2016 року кількість тестувань переважило за дві сотні, а кількість інсталяцій Calix G.Fast на комерційних мережах операторів - за кілька десятків. Зокрема, на обладнанні Calix успішно функціонують комерційні мережі G.fast кількох великих операторів в США. Наприклад, на платформі AXOS E5-16F / E3-16F працюють мережі оператора Windstream. Рішення дозволило істотно підвищити

швидкість передачі даних по мідних лініях зв'язку. Це відчули пересічні абоненти оператора.[5]

У липні 2016 року компанія Calix здійснила пілотний запуск технології G.fast на ділянці мережі найбільшого телекомунікаційного оператора в Казахстані. На мідній лінії протяжністю 250 метрів була досягнута максимальна швидкість доступу в Інтернет рівна 500 Мбіт / с. Паралельно з цим Calix займається тестуванням специфікацій G.fast другого покоління. До кінця року компанія планує представити моделі MDU на 48 абонентських G.fast портів з розширеним функціоналом живлення (живлення від абонентських пристроїв), а також зі збільшеною потужністю лінії, що дозволяє підключати абонентів на відстані до 1 км. Таким чином, використовуючи стандарт G.fast оператори отримують можливість продовжити життя мідної інфраструктури, надавши білягігабітні швидкості по існуючих лініях. Устаткування G.fast легко інтегрується в будь-яку архітектуру і дозволяє провайдерам перейти на надання гігабітних сервісів, телебачення надвисокої чіткості, а також Wi-Fi нового покоління.[5]

1.5.3 Перспективи

Про перспективи G.fast заявляють представники багатьох великих телекомунікаційних компаній Європи. За прогнозами аналітиків, з'єднання Global G.fast досягне 29 мільйонів до 2021 року, що складе близько 3% від світового фіксованого ринку широкосмугового доступу. У Західній Європі цей показник повинен скласти 11%. Про зацікавленість в широкому використанні технології вже заявляють великі західні телекомунікаційні компанії, серед яких Deutsche Telekom, Telekom Austria, Swisscom і Proximus, а також британська компанія NBN.[5]

1.6 Висновки до розділу 1

Технологія SHDSL забезпечує симетричний трафік по одній парі в діапазоні швидкостей: від 192 Кбіт / с до 2.3 Мбіт / с, а по подвійній парі - від 384 кбіт / с до 4,6 Мбіт / с. ADSL забезпечує швидкість передачі до 6,144 Мбіт / с в низхідному напрямку і до 640 кбіт / с у висхідному напрямку. VDSL забезпечує в асиметричному варіанті швидкість передачі в низхідному напрямку до 51 Мбіт / с, а у висхідному - до 33 Мбіт / с. Технологія G.Fast забезпечує приріст швидкості теоретично до 1 Гбіт/с що дозволяє користувачам дивитись відео в Ultra HD.

РОЗДІЛ 2. ІНФРАСТРУКТУРА КАБЕЛЬНИХ СИСТЕМ

2.1 Номенклатура, конструкція, первинні та вторинні параметри міських кабелів

Кабель — це електротехнічний виріб, у якому містяться провідові лінії зв'язку, що об'єднуються у єдину конструкцію. Кабель має загальну пластмасову або металеву оболонку та захисне покриття. Кожна пара проводів складає електричне коло. Класифікація кабелів зв'язку показана на рис. 2.1.

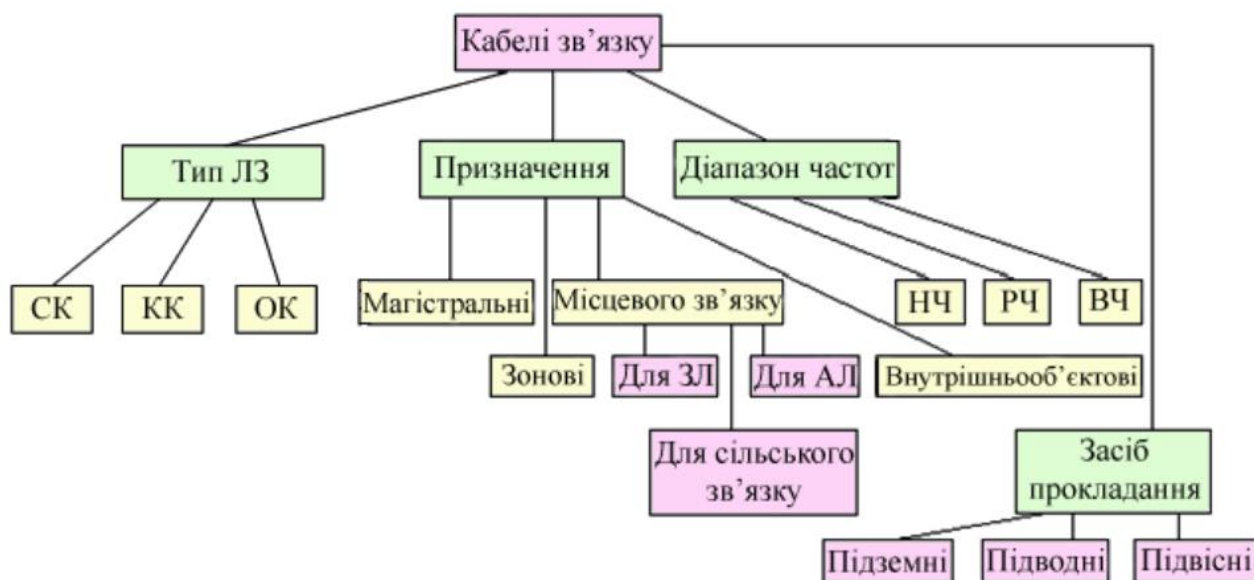


Рисунок 2.1 Класифікація кабелів зв'язку: НЧ — низькочастотні; ЗЛ — з'єднувальна лінія; АЛ — абонентська лінія; СК — симетричний кабель; ВЧ — високочастотні; РЧ — радіочастотні кабелі; ОК — оптичний кабель; КК — коаксіальний кабель

Основні конструктивні елементи кабелю: коаксіальні пари, жили що проводять струм (ізольовані провідники), броньові покриття; захисні оболонки; волоконно-оптичні модулі.

Найчастіше у кабелях зв'язку використовуються такі види ізоляції (рис. 2.2):

трубчаста - виробляється у вигляді пластмасової або паперової стрічки (рис. 2.2, а);

кордельна - складається з корделю, який на провід навитий спіралью, та намотаної поверх корделю пластмасової або паперової (як правило, стиролфлексової) стрічки (рис. 2.2, б);

суцільна - виробляється із суцільного поліетилену та пориста - виробляється із пористого поліетилену (рис. 2.2, в);

балонна – представляє із себе тонку поліетиленову трубку, в якій лежить провід, трубка спіраллю або періодично стискається та фіксує провід (рис. 2.2, г);

шайбова - виробляється з фторопластових, поліетиленових або керамічних шайб, розташованих через певні проміжки на провіднику (рис. 2.2, д).[6]

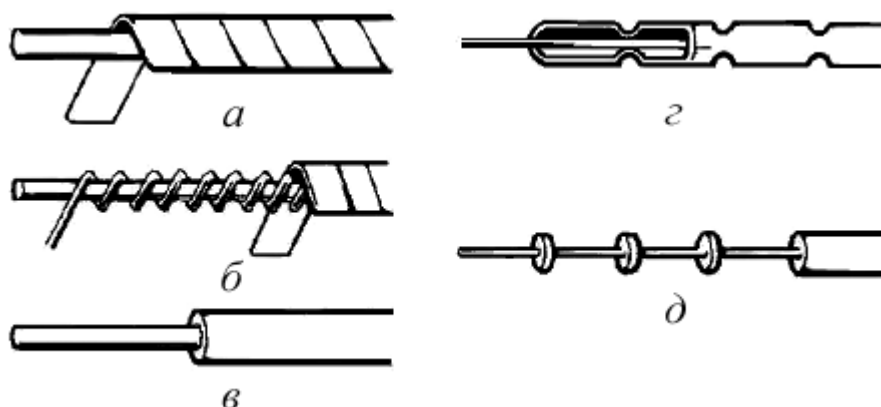


Рисунок 2.2 Типи ізоляції кабелів зв'язку: а — трубчаста; б — кордельна; в — суцільна та пориста; г — балонна; д — шайбова

Скручування жил. Ізольовані провідники симетричних кабелів скручені в елементарні групи. Скручування створює однакові умови для кожної робочої пари щодо взаємних і зовнішніх перешкод, а також забезпечує гнучкість кабелю, який необхідний для його укладання. Найбільш поширеними є такі типи скручувань (рисунок 2.3):

парне - містить дві ізольовані жили, які створюють робоче електричне коло (рис. 2.3, а);

четвіркове (або зіркове) скручування, складається з чотирьох жил, вони являють дві робочі пари: 1-2 та 3-4 (рис. 2.3, б);

подвійне парне, у якому скручуються між собою робочі пари, а дві пари скручуються у четвірку (рис. 2.3, в).

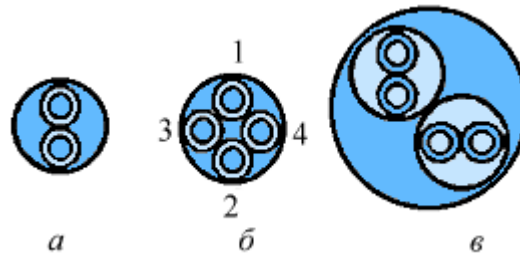


Рисунок 2.3 Елементарні групи: а — парна; б — зіркова; в — подвійна парна

Загальний скручений кабель. Разом елементарні групи утворюють ядро кабелю. Існують дві основні системи скручування сердечника: повивове і пучкове. При скручуванні пучка кілька груп скручуються в пучки, а потім пучки скручуються в загальне скручування кабелю (рис. 2.4, а). В повивому скручуванні окремі жили або елементарні групи розташовані послідовно концентричними шарами навколо центральної порожнини, яка складається з однієї або п'яти груп (рис. 2.4, б). У кожному з наступних випадків на п'ять груп більше, ніж в попередньому, за винятком випадку, коли одна група перебуває в центрі, а в першому - п'ять. Кожен сердечник ядра має свій період скручування, суміжні шнури скручуються в різних напрямках, що зменшує взаємний вплив в фізичних колах. У кожному разі повинна бути контрольна група, яка характеризується кольором ізоляції від усіх інших груп. Кожен сердечник корпусу, за винятком зовнішнього, намотується в спіральні нитки. [6]

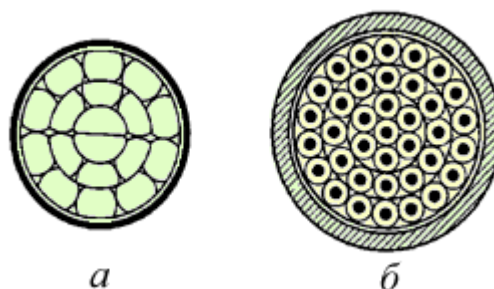


Рисунок 2.4 Скручування в осерді: а — повивове; б — пучкове

Низькочастотні симетричні кабелі. Ці кабелі призначені для абонентських ліній міської телефонної мережі, вони багатопарні, містять до 2500 пар. Тип кабелю в маркуванні позначено літерою Т. В абонентських лініях кабелі типів ТГ (голі, без обладунків) і ТБ (в броні типу Б) використовуються з ізоляцією з паперової трубки або футеровки в свинцевих оболонках. Ці кабелі мають повиве скручування ядра і скручування з двома групами. Кабелі з паперовою трубчастою і ламінарною ізоляцією більше не виробляються, але все ще знаходяться в експлуатації. Сучасними є кабелі з поліетиленовою твердою ізоляцією в поліетиленових (ТПП) і полівінілхлоридних (ТПВ) мембранах. Також виготовляються кабелі з стрічкопротяжною оболонкою (ТППБ, ТПВБ) і кабелі в сталевій оболонці (ТПС). [6]

Ці кабелі мають повивове (рис. 2.5а), пучок (рис. 2.5, б) і комбінований пучок з катушкою, скручування. Кабелі невеликої ємності (до 100×2) мають гідрофобне наповнення, що запобігає доступу до кабелю для вологи. [6]

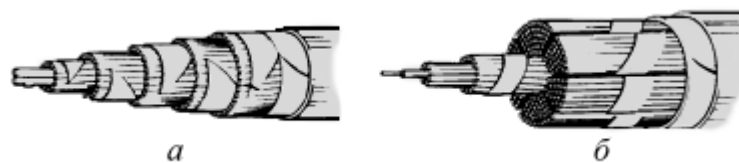


Рисунок 2.5. Загальний вигляд міських телефонних кабелів

Параметри кабелів типу ТГ (на постійному струмі) наведені в таблиці 2.1.[6]

Таблиця 2.1 - Параметри кабелів типу ТГ (на постійному струмі)

d , мм	R , Ом/км	C , нФ/км	$R_{из}$, МОм · км	α , дБ/км	$Z_{хв}$, Ом
0,4	139	50	5000	1,66	1054
0,5	90	50	5000	1,20	972
0,7	45	45	5000	0,88	672

Параметри кабелів типу ТПП (на постійному струмі) наведені в таблиці 2.2.[6]

Таблиця 2.2 - Параметри кабелів типу ТПП (на постійному струмі)

d , мм	R , Ом/км	C , нФ/км	$R_{із}$, МОм · км	α , дБ/км	$Z_{хв}$, Ом
0,32	216	45	5000	1,92	1358
0,4	139	45	5000	1,54	1164
0,5	90	45	5000	1,23	892
0,7	45	45	5000	0,87	676

2.2 Номенклатура, конструкція, первинні та вторинні параметри магістральних кабелів

Симетричні високочастотні кабелі мають маркування МК - основний кабель і ЗК - зонний кабель. Низькочастотні кабелі мають позначення ТК (телефонна крутка), Т-телефон. Тип ізоляції позначений: С - стирофлекс кордель; П - поліетилен; В - полівінілхлорид; паперова прокладка і ізоляція з трубчастої трубки не схильні до дії. Типи захисної оболонки мають позначення: А - алюміній, С - сталь, П - поліетилен, В - полівінілхлорид. Не позначається свинцева оболонка в маркуванні кабелів. Алюмінієві і сталеві оболонки покриті поліетиленовими або полівінілхлоридними шлангами; це покриття позначено буквами Шп або Шв. Позначення броньових покривів виглядає наступним чином: В - броню з сталевих стрічок, К - броню з круглих дротів; якщо кабель не має обладунків, він позначається буквою Г - голий. Якщо кабель має екран (або екрани), він позначається буквою «е». Коаксіальні кабелі позначені: типом кабелю, захисним чохлом, бронею, кількістю коаксіальних пар. Типи коаксіальних кабелів: КМ - коаксіальна магістраль; МКТ - малогабаритний коаксіальний телефон-телевізор; ВК - однокоаксіальний. [6]

Симетричні високочастотні кабелі. Звичайним є кабель типу МК з ізоляцією кордель-стирофлекс з різними захисними кришками: МКС - з свинцевою оболонкою (її тип не змінюється), МКСС - зі сталеву оболонкою. Кабель має 1, 4 або 7 симетричних четвірки. Різні модифікації кабелю МКС - $4 \times 4 \times 1,2$ показані на рис. 2.6. Цей кабель як і раніше використовується на лініях зон і на з'єднувальних лініях в поєднанні з аналоговими і цифровими системами з низькою пропускнуою здатністю (ІКМ-30, ІКМ-120). [6]

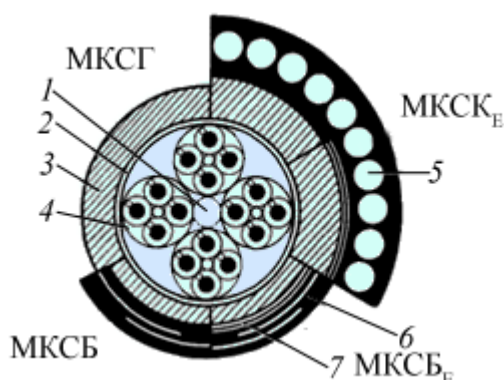


Рисунок 2.6 Кабель типу МКС — $4 \times 4 \times 1,2$: 1 — кордель; 2 — поясна ізоляція; 3 — свинцева оболонка; 4 — зіркова четвірка; 5 — сталеві дроти; 6 — сталеві стрічки; 7 — екран

Основні коаксіальні кабелі КМ-4 містять чотири стандартних коаксіальних пари з діаметрами (d / D) 2,6 / 9,5 мм і п'ять обслуговуючих симетричних четвірок (рис. 2.7). Зовнішній провідник цих кабелів виконаний у вигляді трубки з мідної стрічки з поздовжнім швом. Ізоляція в коаксіальній парі поліетиленових шайб. Симетричні четвірки призначені для передачі сигналів обслуговування і телемеханіки. Використовуються кабельні марки КМГ-4; КМБ-4; КМК-4. Ці кабелі використовуються в діапазоні частот до 17 МГц. Ці кабелі більше не виробляються, але все ще знаходяться в експлуатації. [6]

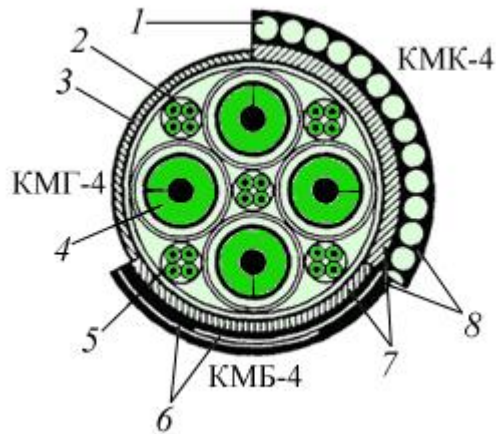


Рисунок 2.7 Коаксіальний кабель КМ-4: 1 — броневий дріт; 2 — поясна ізоляція; 3 — свинцева оболонка; 4 — коаксіальна пара; 5 — симетрична четвірка; 6 — дві бронестрічки; 7 — подушка; 8 — зовнішнє покриття (джут)

Електричні параметри кабелів типу МКС ($d = 1,2$ мм) наведені в таблиці 2.3.[6]

Таблиця 2.3 - Електричні параметри кабелів типу МКС ($d = 1,2$ мм)

f , кГц	R , Ом/км	L , мГн/км	C , нФ/км	G , мкСм/км	α , дБ/км	β , рад/км	$ z_{\text{хв}} $, Ом
10	33,2	0,88	24	0,7	0,74	0,283	190
50	43,6	0,85	24	4,6	1,153	1,31	172
100	64	0,82	24	9,4	1,588	2,60	69
150	78	0,80	24	14	1,935	3,88	167
200	93	0,78	24	18,8	2,225	5,18	166,7
250	102	0,76	24	23,4	2,497	6,45	166,5

Електричні параметри кабелю КМ-4 (2,6/9,4) наведені в таблиці 2.4.[6]

Таблиця 2.4 - Електричні параметри кабелю КМ-4 (2,6/9,4)

f , кГц	R , Ом/км	L , мГн/км	C , нФ/км	G , мкСм/км	α , дБ/км	β , рад/км	$ Z_{\text{хв}} $, Ом
0,3	24	0,276	48	6,0	1,353	6,85	75,7
1	43	0,270	48	20,1	2,477	22,6	75,0
5	95,1	0,266	48	100,5	5,538	112	74,5
10	134	0,265	48	201,0	7,856	224	74,3
15	164,5	0,265	48	301,4	9,652	336	74,25
20	190	0,264	48	401,8	11,161	448	74,2
25	212,5	0,264	48	507,3	12,521	560	74,2

2.3 Принцип побудови міської кабельної мережі

Зв'язок між абонентськими пристроями здійснюється за допомогою комутаційних вузлів. У них є концентрація інформації, і тоді вони спрямовуються по певним шляхам. Для цього комутаційні вузли взаємопов'язані лінійними структурами (сполучними лініями, які включають в себе системи каналоутворюючого обладнання, які організовують необхідні пучки каналів через кабельні, радіорелейні, повітряні, супутникові лінії зв'язку. Таким чином, набір комутаційних вузлів, пристрої кінцевого користувача і підключення їх планів і ліній називається комунікаційною мережею. Мережа зв'язку країни складається з магістральних і зонних мереж. Зонна мережа організована в тій же області. Вона розділена на внутрішню зональну і місцеву, розташованих в зоні із семизначною нумерацією. [16]

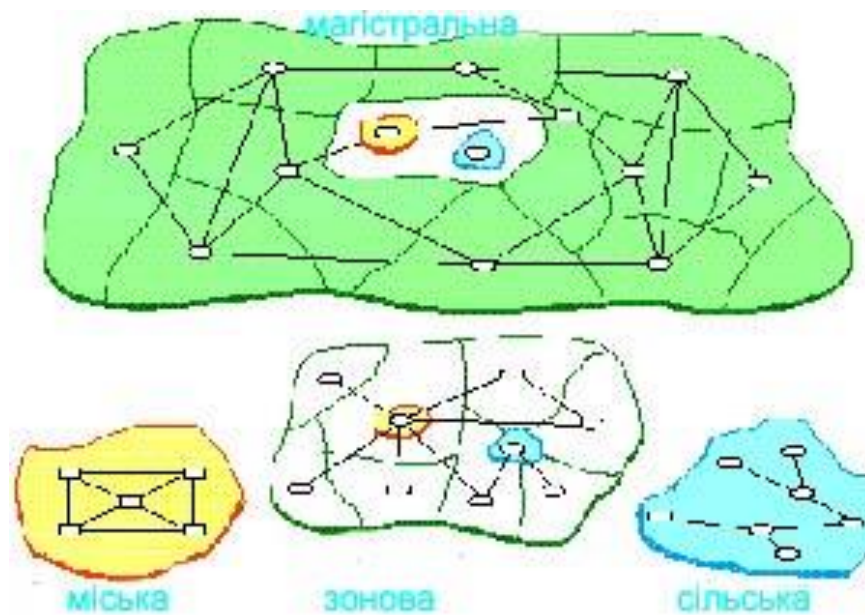


Рисунок 2.8 Побудова мережі зв'язку

2.4 Магістральні кабельні лінії

Магістральні лінії представляють собою набір кабельних ліній, лінійних і цивільних структур, мережевих вузлів, які забезпечують організацію і роботу каналів передачі даних в певному напрямку. Вони можуть бути побудовані на основі бездротової та кабельної технології для уніфікації вузлів і комунікаційних схем. Основними характеристиками магістральної мережі є висока і надійна швидкість передачі. У магістральні мережі входять: кабельні лінії, лінійно-кабельні споруди, мережеві вузли, удосконаленні бездротові мережі, а також допоміжні системи, що забезпечують обслуговування мереж і ліній зв'язку. [12]

Найчастіше магістральна мережа служить як транспортна телекомунікаційна інфраструктура що надає послуги зв'язку. Ці мережі часто використовуються для вирішення певних завдань, як: передача інформації по всій країні або населеному регіону, швидке і безперервне з'єднання розподілених географічних вузлів і т. д. У магістральних лініях використовується спеціалізовані багатоядерні або оптичні кабеля. Магістральні кабельні лінії, побудовані на основі оптичного кабелю, називаються волоконно-оптичними лініями зв'язку (ВОЛЗ), вони дозволяють організувати високошвидкісну передачу даних на великі відстані. Кабель багатожильний дозволяє організувати багатоканальну

телефонну зв'язок і значно поступатися оптичному кабелю на швидкості і діапазоні передачі даних. [12]

2.5 Висновки до розділу 2

У даному розділі були розглянуті конструкції міських і магістральних кабелів, їх параметри, класифікація кабельних діній, а також типи ізоляцій і види кабелів. Також було розглянуто принцип побудов кабельних мереж.

РОЗДІЛ 3. ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПЕРЕДАЧУ ЦИФРОВИХ СИГНАЛІВ ПО МІДНИМ КАБЕЛЯМ

3.1 Амплітудно-частотна характеристика

Амплітудно-частотна характеристика (рис. 3.1) показує, як амплітуда синусоїди на виході лінії зв'язку падає з амплітуди на її вході для всіх можливих частот переданого сигналу. Замість амплітуди такий параметр як потужність сигналу часто використовується в цій характеристиці. [10]

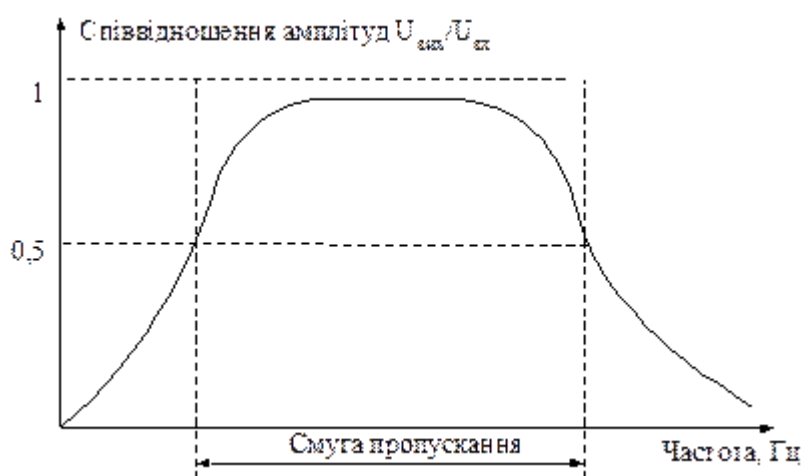


Рисунок 3.1 Амплітудно-частотна характеристика

Знання амплітудно-частотної характеристики реальної лінії дозволяє зв'язувати форму вихідного сигналу практично для будь-якого вхідного сигналу. Для цього потрібно знайти спектр вхідного сигналу, перетворити амплітуду гармонік її складових відповідно до амплітудно-частотної характеристики, а потім знайти форму вихідного сигналу, що перетворює гармоніки. Незважаючи на повноту інформації, наданої амплітудно-частотною характеристикою лінії зв'язку, її використання ускладнюється тим, що її важко отримати. Зрештою, для цього вам потрібно перевірити лінію за допомогою синусоїд в діапазоні частот від нуля до деякого максимального значення, яке може виникати у вхідних сигналах. Більш того, для зміни частоти вхідних синусоїдальних хвиль необхідний невеликий крок, і, отже, кількість експериментів має бути дуже великим. Тому на практиці замість амплітудно-частотної характеристики використовуються інші спрощені характеристики - смуга пропускання і загасання. [10]

3.2 Перехідні завади між парами кабелю

Головні типи впливів в симетричних кабелях - перехідні впливи на ближньому і дальньому кінці внаслідок паразитних електромагнітних і ємнісних зв'язків між парами одного кабелю або декількох близько розташованих кабелів. Для оцінки таких перехідних впливів використовують прилади для діагностики і локалізації несправностей в металевих кабелях. Основним методом зменшення таких впливів служить скручування жил мідної пари. Найбільш жорсткі вимоги в цьому відношенні пред'являються в структурованих кабельних системах (СКС) з широким діапазоном робочих частот: відсутність скручування жил допускається на відстані не більше 1/2 дюйма від точки з'єднання двох відрізків кабелю.[7]

Мірою оцінки перехідних впливів є перехідне загасання на ближньому кінці (Near End Crosstalk, NEXT) і перехідне загасання на дальньому кінці (Far End Crosstalk, FEXT). Зазначені параметри дозволяють оцінити придатність пар симетричних кабелів для високошвидкісної передачі даних. Перехідні затухання NEXT і FEXT можуть виражатися через логарифм відношення потужності генератора P_1 , що живить впливаючий ланцюг, до потужності перешкод P_2 в ланцюзі, схильної до впливу, тобто як $10\lg(P_1 / P_2)$ дБ або як різниця рівнів в зазначених точках $p_1 - p_2$.[7]

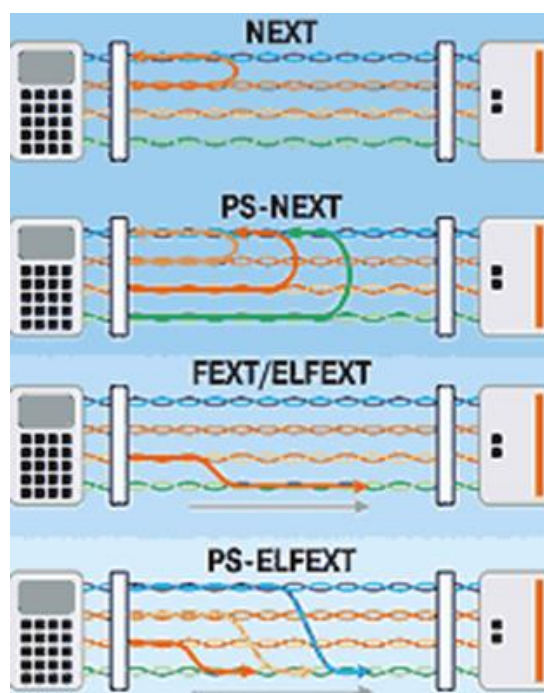


Рисунок 3.1 Перехідні загасання NEXT і FEXT

Варто нагадати, що рівень сигналу або перешкоди в довільній точці X лінії зв'язку оцінюються як $p_x = 10 \lg (P_x / 1 \text{ мВт})$ дБ. Тут P_x є потужність сигналу в точці X. Іноді замість позначення дБ використовують позначення дБм з метою підкреслити той факт, що в якості опорної потужності обрана потужність сигналу, що дорівнює 1 мВт. Нижче буде використовуватися коротке позначення дБ. Величина NEXT оцінюється різницею рівнів сигналу на виході передавача однієї пари і створеної ним перешкоди на вході приймача іншого, виміряних в одному і тому ж пункті, тобто $\text{NEXT} = p_{10} - p_{20}$. [7]

Параметр NEXT є визначальним при однокабельному режимі роботи лінії зв'язку, коли сигнали протилежних напрямків передачі транспортуються по парам одного кабелю. Він грає ключову роль і в тих випадках, коли для поділу сигналів протилежних напрямків, що передаються по одній парі, застосовується метод ехокомпенсації. Як відомо, спектри сигналів протилежних напрямків передачі повністю (наприклад, у HDSL) або частково (у ADSL) збігаються. Раніше у вітчизняній технічній літературі для параметра NEXT використовувалося позначення A_0 . Величина FEXT оцінюється різницею рівнів сигналу на виході передавача однієї пари і створеної ним перешкоди на вході приймача іншого. Однак, на відміну від NEXT, при вимірюванні FEXT передавач впливаючої пари і приймач схильний до впливу пари розташовані в протилежних пунктах лінії передачі. [7]

FEXT - це визначальний параметр при двокабельному режимі роботи лінії зв'язку, коли сигнали протилежних напрямків передачі транспортуються по парам різних кабелів. Він має ключове значення, і коли для поділу сигналів протилежних напрямків, що передаються по одній парі, використовується метод частотного поділу сигналів FDM (наприклад, в системах ADSL або VDSL). Тоді спектри сигналів протилежних напрямків передачі не перекриваються, і перехідний вплив на ближньому кінці відсутній. Раніше параметр FEXT зазвичай позначався як A_L . За інших рівних умов величина FEXT істотно більша за NEXT,

оскільки в першому випадку впливаючий сигнал зазнає загасання в лінії зв'язку, а в другому - безпосередньо впливає на піддану впливу пару.[7]

Параметр NEXT зі збільшенням довжини лінії L спочатку зменшується, а потім стабілізується: починаючи з певної довжини струми перешкод з віддалених ділянок приходять настільки ослабленими, що практично не впливають на величину NEXT. Інша ситуація в разі складання струмів взаємних впливів на дальньому кінці - зі збільшенням довжини лінії всі її ділянки вносять однакові значення перешкод. Перехідне загасання зменшується з ростом частоти, причому NEXT зменшується з частотою зі швидкістю 15 дБ на декаду, а FEXT - зі швидкістю 20 дБ на декаду. Менша крутизна частотної залежності FEXT пояснюється тим, що з ростом частоти зростає загасання перехідних струмів що заважають, що надходять на ближній кінець з віддалених ділянок лінії.[7]

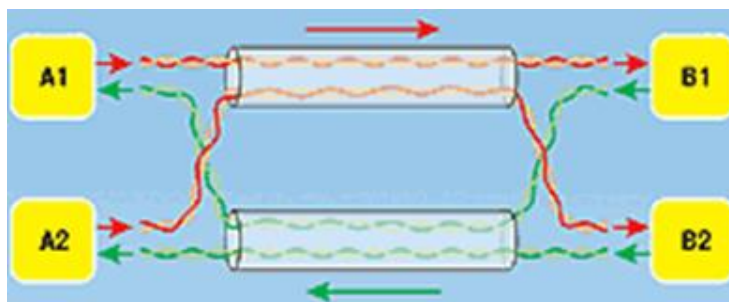


Рисунок 3.2 Однонаправлена передача, робота по двом кабелям

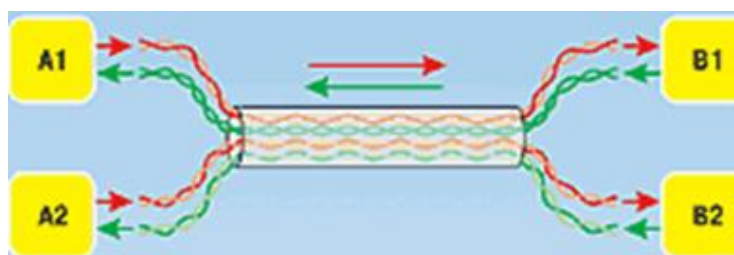


Рисунок 3.3 Однонаправлена передача, робота по одному кабелю

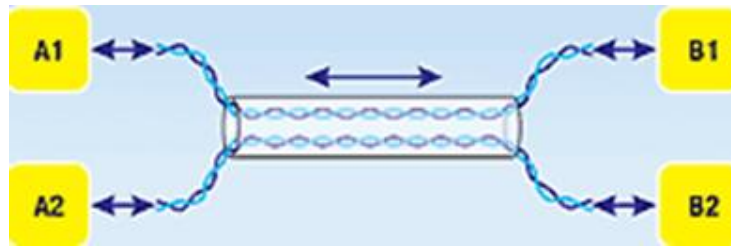


Рисунок 3.4 Двонаправлена передача

Крім розглянутих параметрів NEXT і FEXT, в практиці оцінки структурованих кабельних систем широко використовуються два нових - ACR і ELFEXT, на яких ми зупинимося більш детально. Параметр Attenuation to Crosstalk Ratio (ACR) еквівалентний параметру сигнал / шум стосовно до перехідного впливу на ближньому кінці NEXT, тобто він служить оцінкою на вході приймача для зазначеного загасання лінії сигналу і для перешкоди від перехідного впливу на ближньому кінці. Кількісно ACR виражається як логарифмічна міра різниці NEXT і загасання кабелю. Якщо, наприклад, значення ACR становить 10 дБ, це означає, що потужність перешкоди NEXT на вході приймача буде в 10 разів менше потужності корисного сигналу, тобто ставлення сигнал / шум дорівнюватиме 10. Нехай система зв'язку працює в однокабельному режимі, причому рівні сигналів на виходах передавачів в точках А і В однакові і рівні 0 дБ. Якщо затухання лінії на частоті f позначити через a_k , то при перехідному загасанні NEXT на тій же частоті рівні сигналу P_c і перехідної перешкоди p_p на вході приймача А будуть, відповідно, рівні a_k і NEXT.[7]

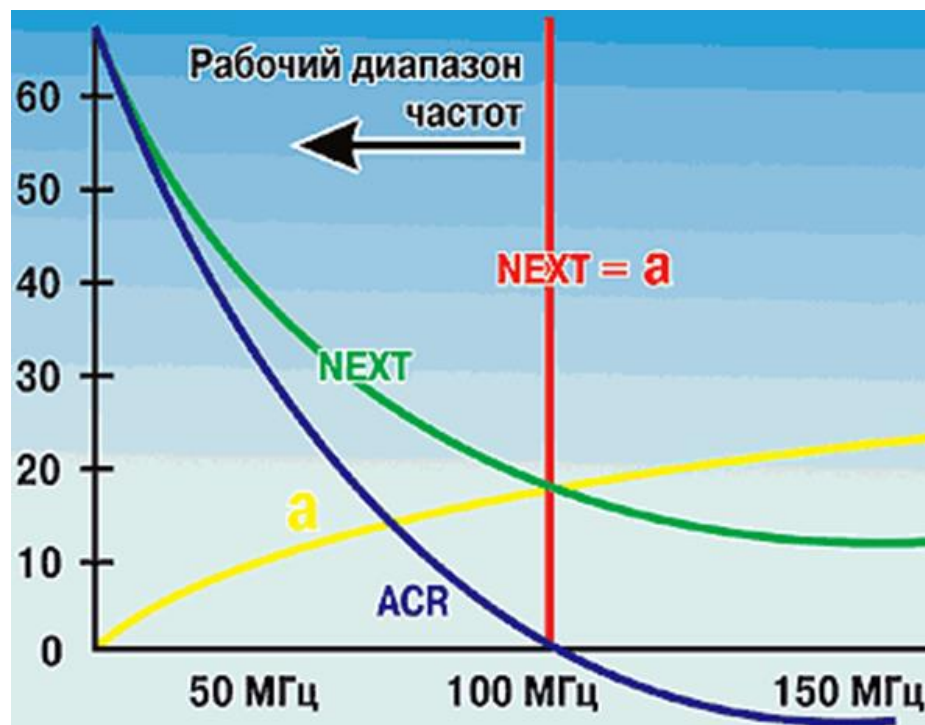


Рисунок 3.5 Частотні характеристики загасання симетричної пари, ACR і NEXT

Тоді $ACR = P_C - p_p = NEXT - a_k$.

Практичний сенс параметра ACR стає зрозуміліший, якщо частотні характеристики загасання симетричної пари (a), перехідної перешкоди (NEXT) і параметра (ACR) подати на одному графіку. Частота, на якій величини загасання і NEXT однакові (в даному випадку вона дорівнює 100 МГц), визначає верхню межу робочого діапазону частот. На частотах вище граничного показника потужність перешкоди NEXT перевищує потужність сигналу. Параметр Equal Level Far End Crosstalk (ELFEXT) має той же фізичний зміст, що і ACR. Різниця між ними тільки в тому, що ACR пов'язаний з NEXT, а ELFEXT - з FEXT. Параметр ELFEXT стає критичним для випадків, коли декількома передавачами однієї системи ведеться передача в одну сторону по парам, розташованим в одному кабелі.[7]

При цьому $ELFEXT = FEXT - a_k$.

Варто відзначити, що раніше у вітчизняній технічній літературі для параметра ELFEXT, який називали захищеністю від перехідного впливу на дальньому кінці, використовувалося позначення A_3 . Крім параметрів ACR і FEXT застосовуються два додаткових параметра - PS-ACR (Power Sum ACR) і PS-

ELFEXT (Power Sum ELFEXT), що враховують сумарний вплив на дану пару всіх інших пар кабелю.[7]

3.2.1 Асиметрія лінії

Асиметрія є одночасно параметром передачі, оскільки вона визначається параметрами пари і впливає на її пропускну здатність, і параметром впливу, так як вона впливає на переходи між іншими парами. Кожна симетрична лінія повинна бути збалансована щодо землі певним чином. Залежно від струму - постійного чи змінного - розрізняють два види асиметрії.[7]

Асиметрія по постійному струму оцінюється відносною величиною різниці опорів жил симетричної лінії і не повинна перевищувати 1%. Наявність резистивного розбалансування лінії, що дорівнює різниці опорів її жил, виміряних при змінному струмі, можна інтерпретувати як включення в неї додаткового фільтра нижніх частот з опором поздовжнього плеча dR . Крім резистивної складової поздовжня розбалансування лінії в загальному випадку містить і ємнісну складову; вона може виникати, наприклад, через випадкове схрещування жил різних пар в місцях з'єднання кабелів. Цю складову можна інтерпретувати як поперечну ємність того додаткового фільтра нижніх частот, про яку йдеться вище. Ступінь поздовжньої асиметрії по змінному струмі оцінюється величиною загасання поздовжньої асиметрії (Longitudinal Conversion Loss, LCL). Причинами поздовжнього розбалансування жил крученої пари може бути нещільний контакт в місцях з'єднання жил кабелів (точках скручування або спайки, розподільних шафах і т. п.). Проблему поздовжнього розбалансування можна вважати вирішеною, навіть якщо поздовжня асиметрія розглянутої пари приведена до норми. Цей факт - необхідний, але ще не достатня умова вирішення проблеми поздовжньої асиметрії в конкретному кабелі. Умова достатності вимагає обов'язкової перевірки всіх пар пучка або повиву на відповідність нормам поздовжньої асиметрії. Справа в тому, що будь-яке розбалансування навіть неробочої пари є джерелом перешкод для всіх працюючих пар, наслідком чого є зменшення їх пропускну здатності.[7]

3.3 Відлуння сигналів на неоднорідностях

Відлуння - це фізичний процес відображення звукових сигналів, що надходять на дифсистему, що здійснює узгодження 4-проводового та 2-х провідного каналів. Відображені таким чином сигнали надходять назад до мовця абоненту і погіршують розбірливість прийнятої мови. Відлуння стає істотною проблемою, якщо затримка поширення звукового сигналу від джерела до приймача і назад стає більшою 50 мс. У VoIP мережах така затримка майже завжди вище 50 мс, і може привести до того, що цей ефект буде подразником для абонента, зменшуючи комфортність спілкування, або зробить розмову практично неможливою. У зв'язку з цим в системі повинен бути передбачений механізм усунення відлуння.[11]

3.4 Міжсимвольна інтерференція

Міжсимвольна інтерференція (МСІ) викликається розсіюванням сигналу в часі при його доланні каналом зв'язку. Особисто, на виході багатопробеневого каналу корисний сигнал стає деформованим так, що одночасно присутні відклики каналу на відрізок вхідного сигналу, що відносяться до доволі віддалених моментів часу. Під час передачі дискретних повідомлень це доводить до того, що при прийомі одного символу на вхід прийомного приладу впливають також відклики на більш раніші (а іноді і більш пізніші) символи, що у цих подіях можуть (при неоптимальних методах прийому) показувати себе як завади. Міжсимвольна інтерференція визивається нелінійністю ФЧХ каналу й лімітованістю його смуги пропускання. В радіоканалах приводом МСІ найчастіше є багатопробеневе поширення радіохвиль.[8]

Нехай передавач пересилає синхронно з тактовим інтервалом T послідовність елементарних сигналів, які відповідають ланцюжку символів $b_{-(Q-1)}, b_{-(Q-2)}, \dots, b_{-1}, b_0, b_1, \dots, b_{D-1}, b_D$, причому кожен із символів послідовності вибирають з можливого для даного коду набору $0, 1, \dots, m-1$ (m – основа коду).

Позначимо відклик лінійного каналу на елементарний сигнал, що призначений символу b_r , через $s_r(t)$, $rT \leq t \leq (Q+r+1) \cdot T$, де $Q = \left\lceil \frac{\Delta\tau}{T} \right\rceil$ – відносна пам'ять каналу, спричинена цілою частиною від розподілу часу розсіювання каналу $\Delta\tau$ (тривалості перехідного процесу в каналі) на T . Тоді одержане колювання $z(t)$ в місці прийому на інтервалі аналізу $T_a = (D+1) \cdot T$ при пошуку рішення щодо символу b_0 можна подати у виді

$$z(t) = s_0(t) + g_{m.u.}(t) + n(t), \quad (3.4.1)$$

де $s_0(t)$ – сигнал, обумовлений аналізованим символом b_0 ;

$$g_{mu}(t) = g_{ocm}(t) + g_{cl}(t) = \sum_{r=Q, r \neq 0}^D s_r(t - rT) \quad \text{– сигнал міжсимвольної інтерференції,}$$

який обумовлюється символами, переданими до і після аналізованого символу; $n(t)$ – адитивний шум у каналі; (3.4.2)

$$g_{ocm}(t) = \sum_{l=Q}^{-1} s_r(t - rT) \quad \text{– сигнал, який характеризує залишковий сигнал МСІ,}$$

обумовлений символами, переданими до аналізованого; (3.4.3)

$$g_{cl}(t) = \sum_{l=1}^D s_r(t - rT) \quad \text{– сигнал, який визначає сигнал МСІ, обумовлений}$$

символами, що передається після аналізованого. Чим більша швидкість передачі

символів $\frac{1}{T}$ у кожному частотному каналі при заданій його смузі пропускання, тим більша кількість сусідніх з досліджуваними символами визначає сигнал $g_{mu}(t)$. (3.4.4) [8]

У деяких випадках у моделі (3.4.1) можна прийняти, що елементарні сигнали на прийомі $s_r(t)$ і передачі $u_r(t)$ пов'язані детермінованим (як правило, лінійним) відношенням. Тоді при незначному рівні шумів $n(t)$ у каналі можна виконати його корекцію, тобто перейти до моделі каналу, що неспотворює. Проте при значних рівнях шумів у каналі з МСІ гранична якість може гарантує лише оптимальний прийом. При випадкових змінах параметрів каналу функції $s_r(t)$ починають ставати випадковими і модель (4.12) ускладнюється. [8]

3.5 Зовнішні завади

Наводки, що створюються зовнішніми по відношенню до приладу, що розглядається, приладами, апаратами, умовами експлуатації (удари блискавок, електромеханічні механізми, передавачі електромагнітної енергії, двигуни й т. д.) - зовнішні перешкоди. Для того, щоб локалізувати, де це можливо, дію джерела полів або сам приймач перешкод, застосовують екрани.[9]

За принципом дії відокремлюють електростатичне, Магнітостатичне та електромагнітне екранування.

3.5.1 Електростатичне екранування

Цей вид екранування полягає в шунтуванні більшої частини (або всієї) паразитної ємності ємністю на корпус. Якщо корпус відставлений на таку відстань, що ємністю між ним і провідниками можна знехтувати, то амплітуда завжди буде рівна:

$$U_{\text{пом}} = R_{\text{вх}} * C_{\text{ав}} * U / T_{\text{ф}} \quad (3.5.1)$$

У такому випадку, коли екран, з'єднаний з корпусом, ставлять поблизу провідників, шунтуюча ємність $C_{\text{во}}$ зменшує амплітуду завади, тобто

$$U'_{\text{пом}} = [R(C_{\text{ав}})^2 / (C_{\text{ав}} + C_{\text{во}})](U / T_{\text{ф}}) \quad (3.5.2)$$

Якщо $C_{\text{ав}} \ll C_{\text{во}}$, то $U'_{\text{пом}} = (R * C_{\text{ав}} * C_{\text{ав}} / C_{\text{во}})(U / T_{\text{ф}})$, т.е. менше $U_{\text{пом}}$ в $C_{\text{ав}} / C_{\text{во}}$ раз.

Якщо ж екран ставити між провідниками так, то завада зменшиться ще більш за рахунок зменшення самої паразитної ємності $C_{\text{ав}}$ до величини $C'_{\text{ав}}$:

$$U'' = \{R * C'_{\text{ав}} * C'_{\text{ав}} / [C'_{\text{ав}} + (C_2 + C_{\text{во}})]\} * U / T_{\text{ф}} \quad (3.5.3)$$

Таким чином, екрануючий ефект заземленого металевого листа полягає в шунтуванні на корпус більшої частини паразитної ємності, що є між джерелом і приймачем наводок. Як металевий лист, з'єднаний з корпусом ЕОМ, служать деталі панелей, блоків, обшивки стійок, шасі, субблоків, спеціальні листові

металеві покладки на монтажних сторонах плат, каркасів, субблоків; екрануючі суцільні металеві шари в багат шарових друкованих платах і т. д.[9]

3.5.2 Магнітостатичне екранування

Магніто-статичні екрани застосовують для захисту чутливих ланцюгів, елементів і пристроїв від постійного і повільно змінного магнітного поля ,що змінюється. У такому випадку джерело або приймач наводки складають в суцільний екран, що виготовлений з феромагнітних матеріалів. Якщо в такий екран поміщене джерело наводки, то магнітні силові лінії зникають у ньому і далі не розповсюджуються. Якщо в екрані укладено приймач наводки, то силові лінії магнітного поля не проникають у порожнину екрана. Якість екранування постійних та, магнітних полів що змінюються повільно, залежить від магнітної проникливості екрана і опору магнітопроводу, що буде тим менший, ніж товстіше екран і чим менше у ньому стиків і швів, поперек напрямку ліній, магнітної індукції.[9]

3.5.3 Електромагнітне екранування

Електромагнітне поле високої частоти, що міняється при проходженні через металевий лист перпендикулярно або під певним кутом до його площини, спричиняє у цьому листі хуртові струми, поле яких послаблює дію зовнішнього поля. Металевий лист у даному випадку є електромагнітним екраном. Прикладом електромагнітного екрану слугує обшивка стоек обчислювальних пристроїв. Якість екранування у цьому випадку залежить від форми і товщини екрану, частоти електромагнітного поля, металу ,що використовують (алюміній, латунь, мідь, сталь і др.). Різноманітні метали окреслюються різною еквівалентною глибиною проникнення хуртових струмів. Ефективність екранування більша для прямокутної форми екрану, менша - для циліндричної, і ще менша - для сферичної.[9]

3.6 Висновки до розділу 3

У даному розділі було розглянуто фактори, що впливають на передачу цифрових сигналів по мідним кабелям. Найбільший вплив на кабеля здійснюють такі фактори як NEXT на SHDSL і ELFEXT на ADSL, а також кількість одночасно діючих пар в кабелі. Тому у подільшому дослідження проводились враховуючи ці фактори.

РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТЕНЦІАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ ДЛЯ РОБОТИ xDSL-СИСТЕМ

Найбільш поширеними на теперішній час є наступні різновиди xDSL:

- 16TC-PAM SHDSL
- 32TC-PAM SHDSL
- 128TC-PAM SHDSL
- ADSL2+

Основні фактори, що впливають на передачу цифрових сигналів по мідним кабелям:

- Згасання рівня сигналу в наслідок впливу активних та реактивних складових опору сигналу
- Перехідні завади між парами кабелю
- Відлуння сигналів на неоднорідностях
- Міжсимвольна інтерференція
- Зовнішні завади

Найбільший вплив здійснюють перші два фактори. Тому дослідження проводилось беручи до уваги саме ці фактори.

1) Визначення залежності E/N (співвідношення енергії сигналу на 1 біт до спектральної щільності завад) від параметрів обладнання та кабельної лінії

$$E/N = P_{\text{пд}} / (L * R * (N_o + N_{\text{п}})), \quad (4.1)$$

де: $P_{\text{пд}}$ – потужність передавача SHDSL; $L = \alpha D$ – втрати сигналу у кабелю; α – погонні втрати сигналу (на 1 км); D – довжина кабелю у кілометрах; R – швидкість передачі цифрового потоку; N_o – спектральна щільність теплових шумів на вході приймача SHDSL; $N_{\text{п}}$ – спектральна щільність перехідних завад.

Спектральну щільність перехідних завад можливо визначити так:

$$N_{\text{п}} = (m-1) * P_{\text{пд}} * K * (\log M - 1) / (N_{\text{EXT}} * R), \quad (4.2)$$

де: m – кількість одночасно задіяних пар кабелю для SHDSL-ліній; K – коефіцієнт, що враховує нерівномірність спектру сигналу SHDSL; M – позиційність сигналу TC-PAM (16, 32, 64, 128); NEXT – коефіцієнт ослаблення перехідних завад.

Таким чином,

$$E/N = P_{\text{пд}} / (aD * R * (N_0 + (m-1) * P_{\text{пд}} * K * (\log M - 1) / (\text{NEXT} * R))) \quad (4.3)$$

Співвідношення E/N можна представити як $K_m * (E/N)_0$, де $(E/N)_0$ – співвідношення, яке забезпечує коефіцієнт помилок 10^{-7} ; K_m – запас завадостійкості.

2) Визначення залежності D від R

а) Використовується тільки 1 пара кабелю. У цьому випадку перехідні завади відсутні.

$$\text{Тому: } E/N = P_{\text{пд}} / (aD * R * N_0). \quad (4.4)$$

$$\text{З цієї формули: } D = \log_a(P_{\text{пд}} / (K_m * (E/N)_0 * R * N_0)), \quad (4.5)$$

де: a – погонні втрати сигналу на частоті 150 кГц для TC-PAM16, та на частоті 200 кГц для TC-PAM32 (з довідників по кабельним лініям); $P_{\text{пд}} = 20$ мВт; $K_m = 0 \dots 4$ дБ; $(E/N)_0 = 27,7$ дБ (TC-PAM16) та $30,7$ дБ (TC-PAM32)

б) Врахування перехідних завад ($m > 1$)

У цьому випадку треба з формули (4.3) визначити аналітичну функцію $D = f(R)$:

$$D = P_{\text{пд}} / (a * (E/N) * R * (N_0 + (m-1) * P_{\text{пд}} * K * (\log M - 1) / (\text{NEXT} * R))) \quad (4.6)$$

Розрахунки виконувались для міського кабелю ТПП 50 x 2 x 0,5 на основі рекомендацій по нормуванню параметрів впливу та за допомогою програми DSLcalc.

4.1 Залежність пропускної спроможності кабельного середовища від довжини лінії для стандартів SHDSL і ADSL та типів кабелів з урахуванням тільки теплових шумів

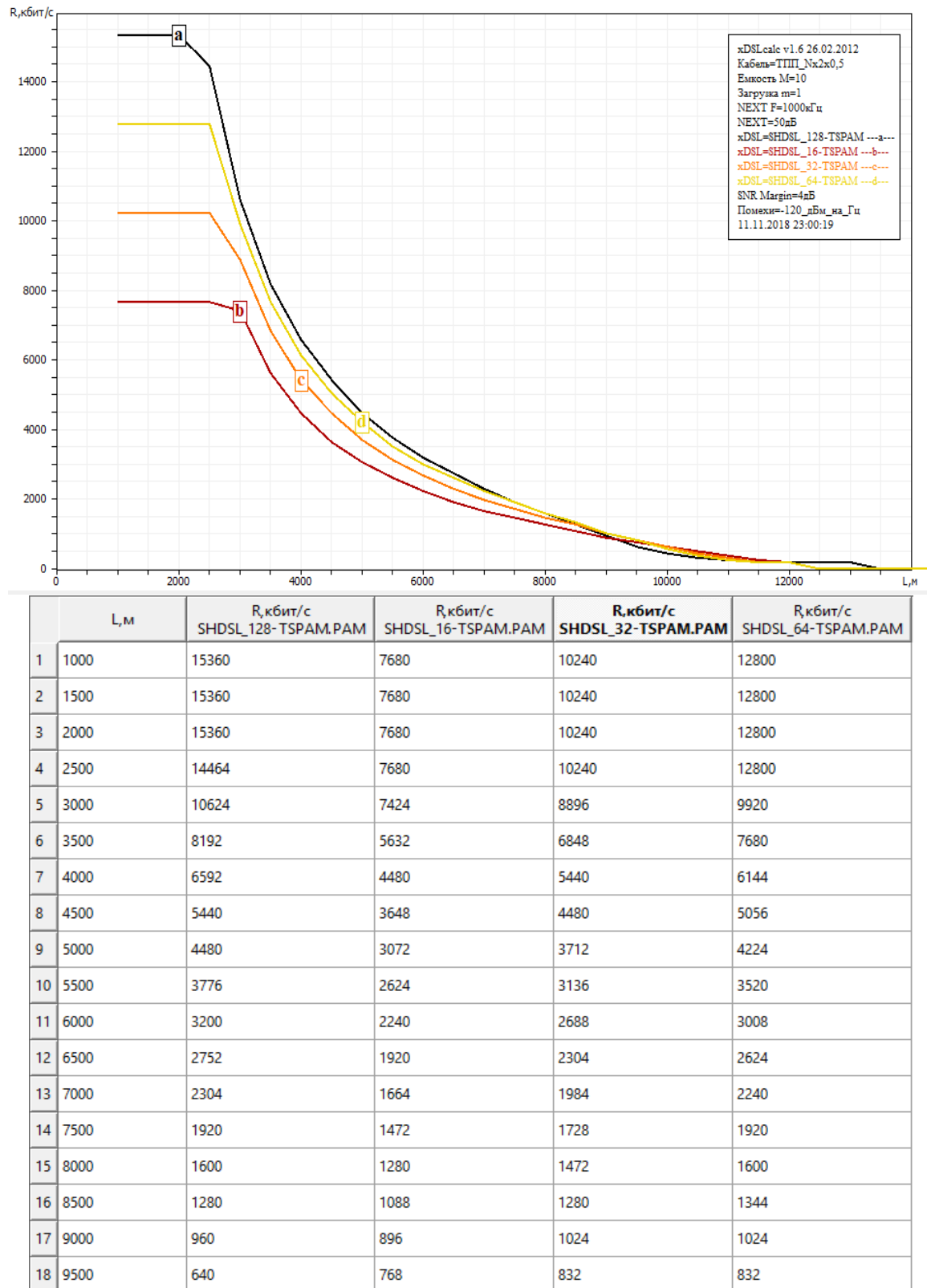
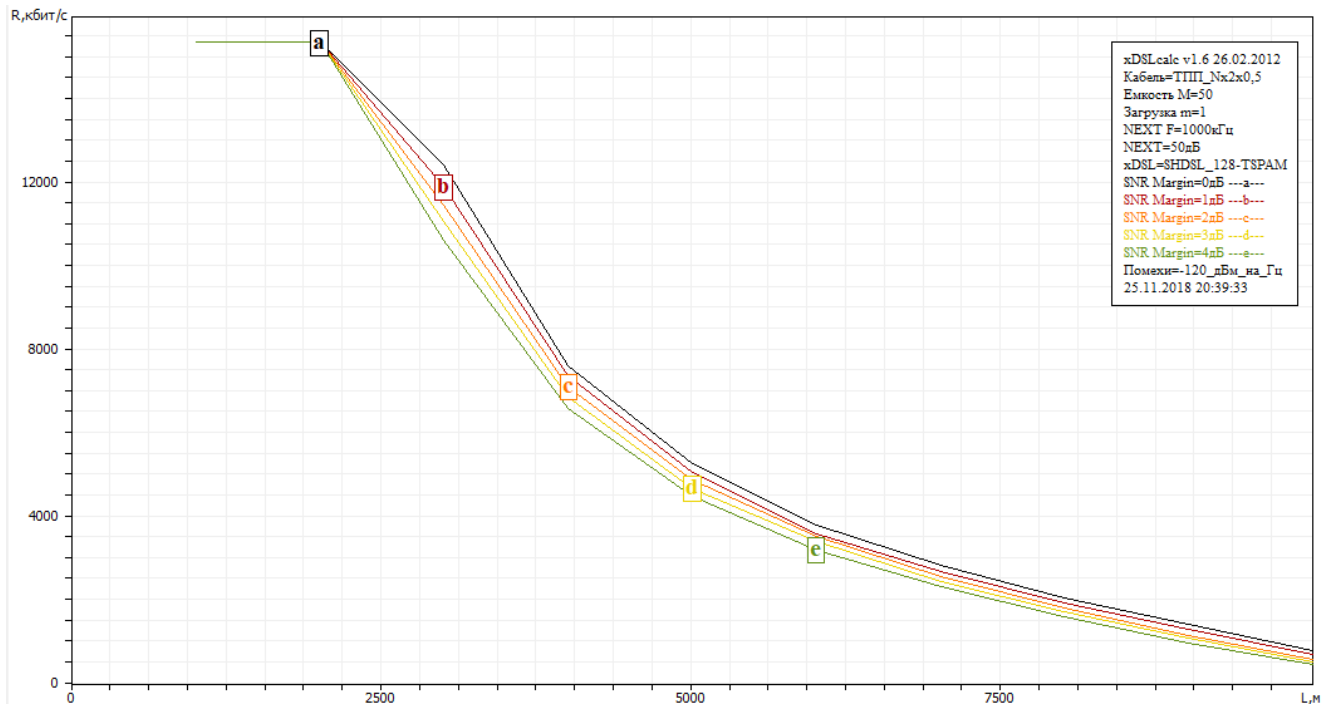


Рисунок 4.1 Швидкість SHDSL(ТСПАМ-16, 32, 64,128)під дією тільки теплових шумів

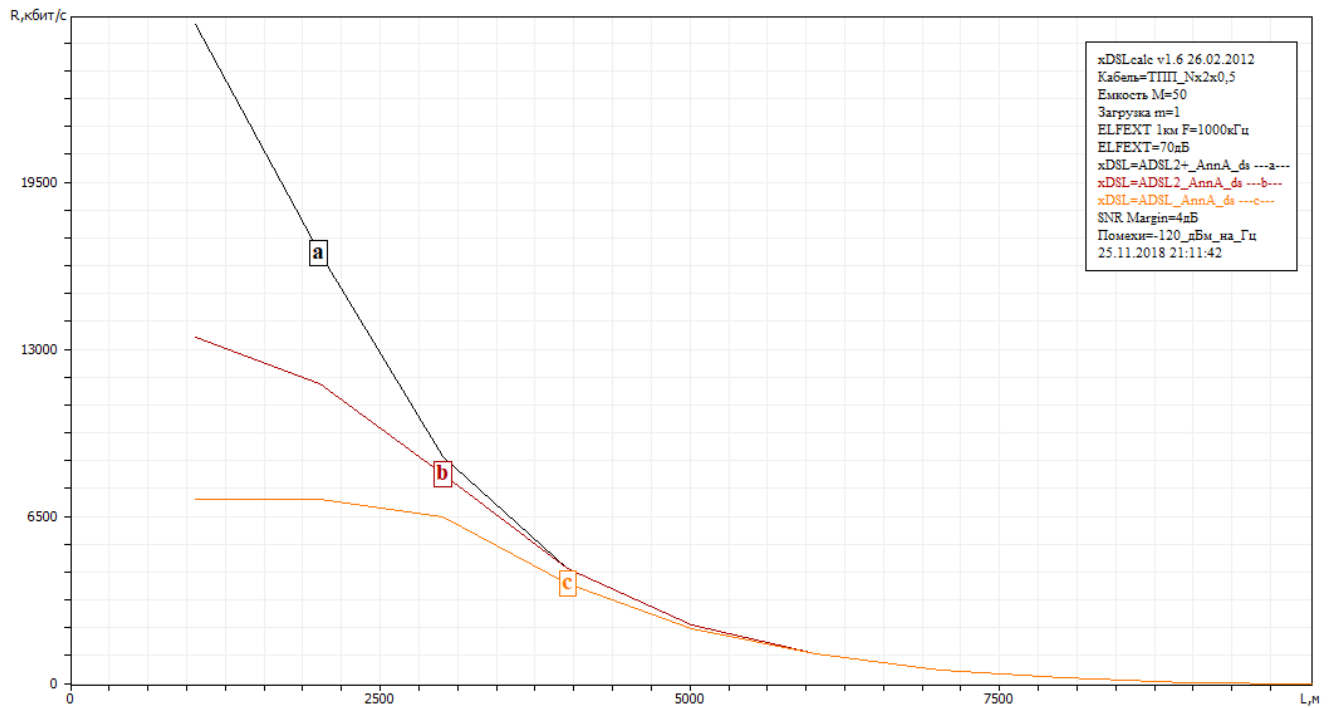
На рис. 4.1 зображено швидкість SHDSL при модуляції TSPAM-16, 32, 64, 128 без перехідних завад



	L, м	R, кбит/с SNR Margin=0дБ	R, кбит/с SNR Margin=1дБ	R, кбит/с SNR Margin=2дБ	R, кбит/с SNR Margin=3дБ	R, кбит/с SNR Margin=4дБ
1	1000	15360	15360	15360	15360	15360
2	2000	15360	15360	15360	15360	15360
3	3000	12416	11904	11456	11072	10624
4	4000	7616	7360	7104	6848	6592
5	5000	5248	5056	4864	4672	4480
6	6000	3776	3584	3520	3392	3200
7	7000	2816	2688	2560	2432	2304
8	8000	2048	1920	1792	1728	1600
9	9000	1408	1280	1152	1088	960
10	10000	768	704	576	512	448

Рисунок 4.2 Швидкість SHDSL TSPAM-128 під дією тільки теплових шумів при різних значеннях запасу завадостійкості

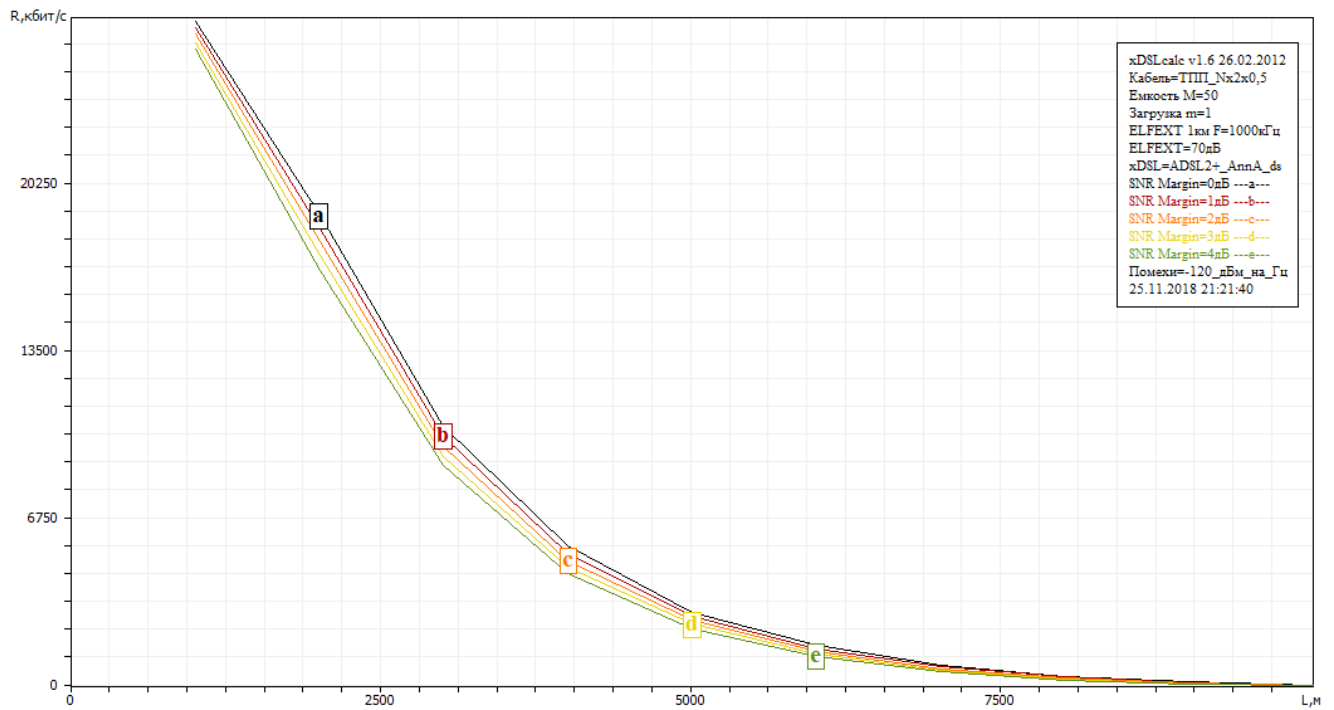
На рис. 4.2 зображено швидкість SHDSL при модуляції TSPAM-128 без перехідних завад при різних значеннях стійкості, яка характеризується величиною запасу перешкодозахищеності SNR Margin.



	L, м	R, кбит/с ADSL2+_AnnA_ds.DMT	R, кбит/с ADSL2_AnnA_ds.DMT	R, кбит/с ADSL_AnnA_ds.DMT
1	1000	25668	13500	7200
2	2000	16772	11668	7200
3	3000	8864	8184	6492
4	4000	4504	4504	3920
5	5000	2308	2308	2152
6	6000	1180	1180	1176
7	7000	560	560	556
8	8000	224	224	224
9	9000	52	52	52
10	10000	0	0	0

Рисунок 4.3 Швидкість ADSL2+, ADSL2 і ADSL під дією тільки теплових шумів

На рис. 4.3 зображено швидкість ADSL2+, ADSL2 і ADSL без перехідних завад.

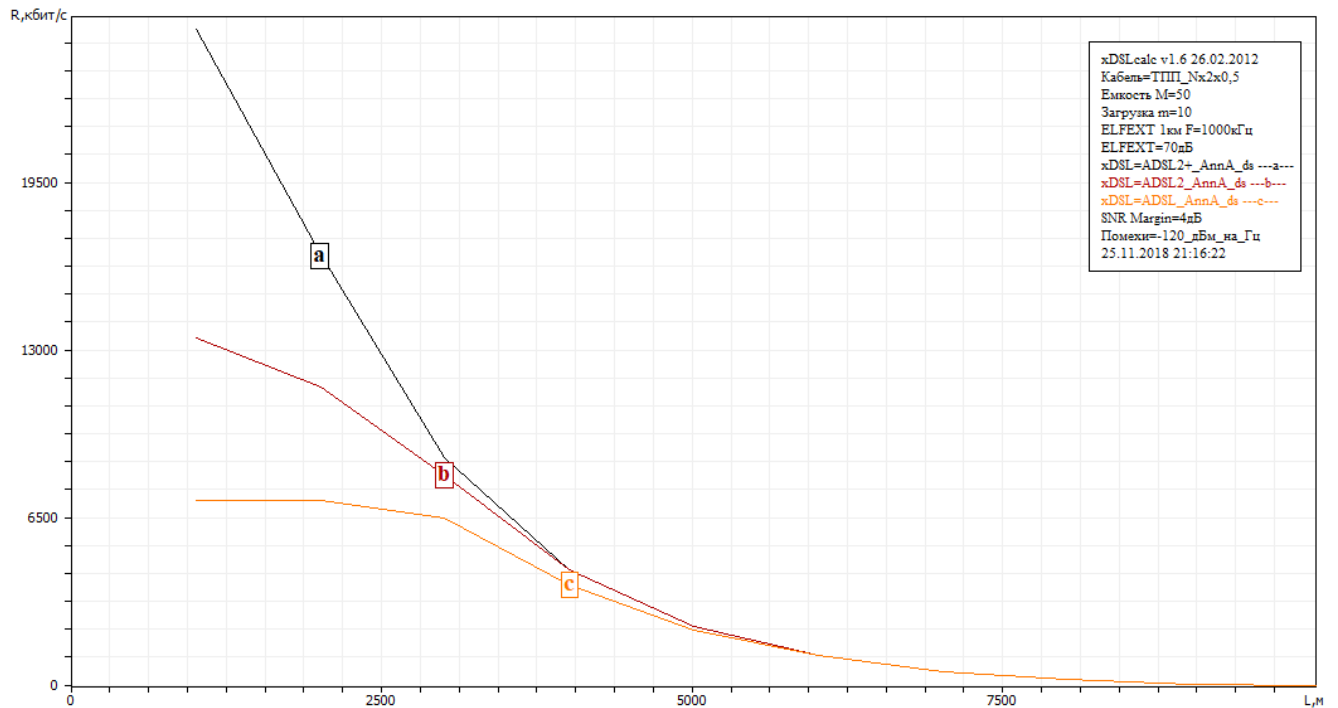


	L, м	R, кбит/с SNR Margin=0дБ	R, кбит/с SNR Margin=1дБ	R, кбит/с SNR Margin=2дБ	R, кбит/с SNR Margin=3дБ	R, кбит/с SNR Margin=4дБ
1	1000	26804	26552	26288	25952	25668
2	2000	18964	18428	17900	17352	16772
3	3000	10432	10064	9652	9236	8864
4	4000	5640	5336	5040	4772	4504
5	5000	2968	2788	2628	2464	2308
6	6000	1604	1484	1384	1288	1180
7	7000	820	748	680	620	560
8	8000	376	336	296	256	224
9	9000	128	112	88	64	52
10	10000	16	12	4	0	0

Рисунок 4.4 Швидкість ADSL2+ під дією тільки теплових шумів при різних значеннях стійкості

На рис. 4.4 зображено швидкість ADSL2+ без перехідних завад при різних значеннях стійкості, яка характеризується величиною запасу перешкодозахищеності SNR Margin.

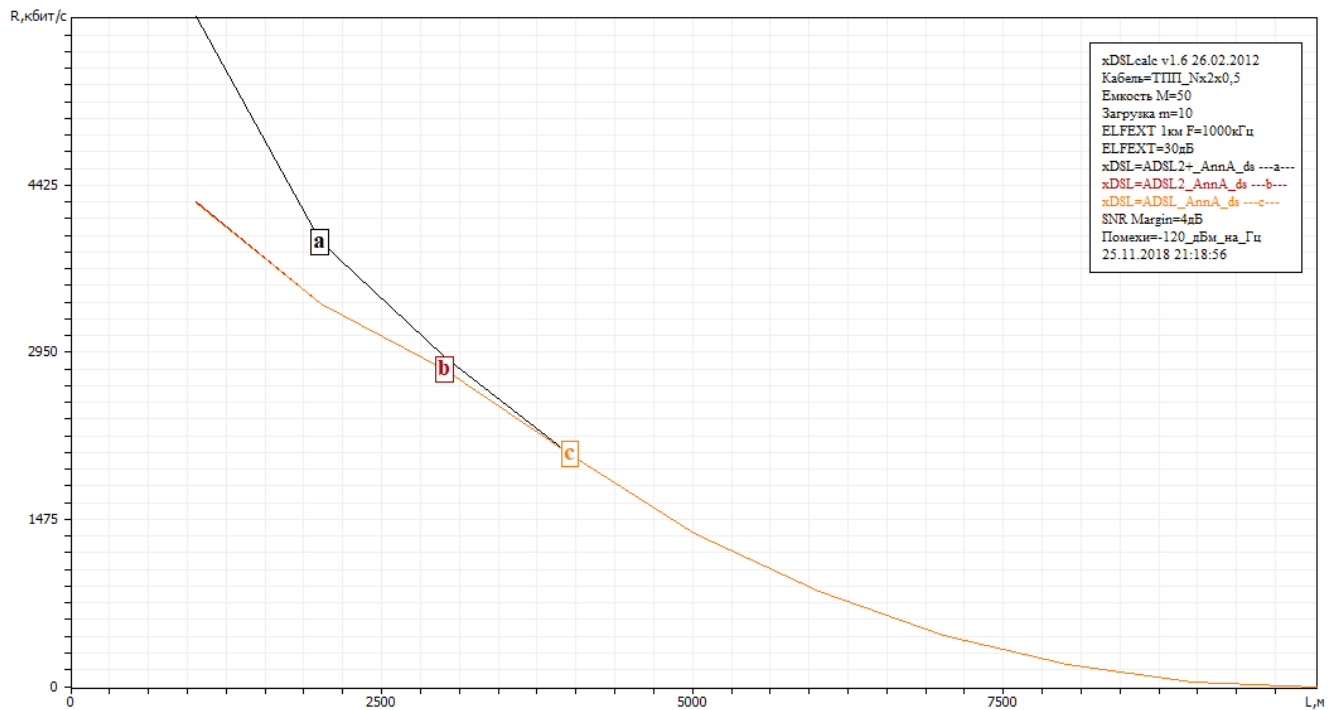
4.2 Залежність пропускної спроможності кабельного середовища від довжини лінії для стандартів SHDSL і ADSL та типів кабелів з урахуванням перехідних завад



	L, м	R, кбит/с ADSL2+_AnnA_ds.DMT	R, кбит/с ADSL2_AnnA_ds.DMT	R, кбит/с ADSL_AnnA_ds.DMT
1	1000	25480	13500	7200
2	2000	16700	11600	7200
3	3000	8852	8172	6492
4	4000	4504	4504	3920
5	5000	2308	2308	2152
6	6000	1180	1180	1176
7	7000	560	560	556
8	8000	224	224	224
9	9000	52	52	52
10	10000	0	0	0

Рисунок 4.5 Швидкість ADSL2+, ADSL2 і ADSL під впливом перехідних завад

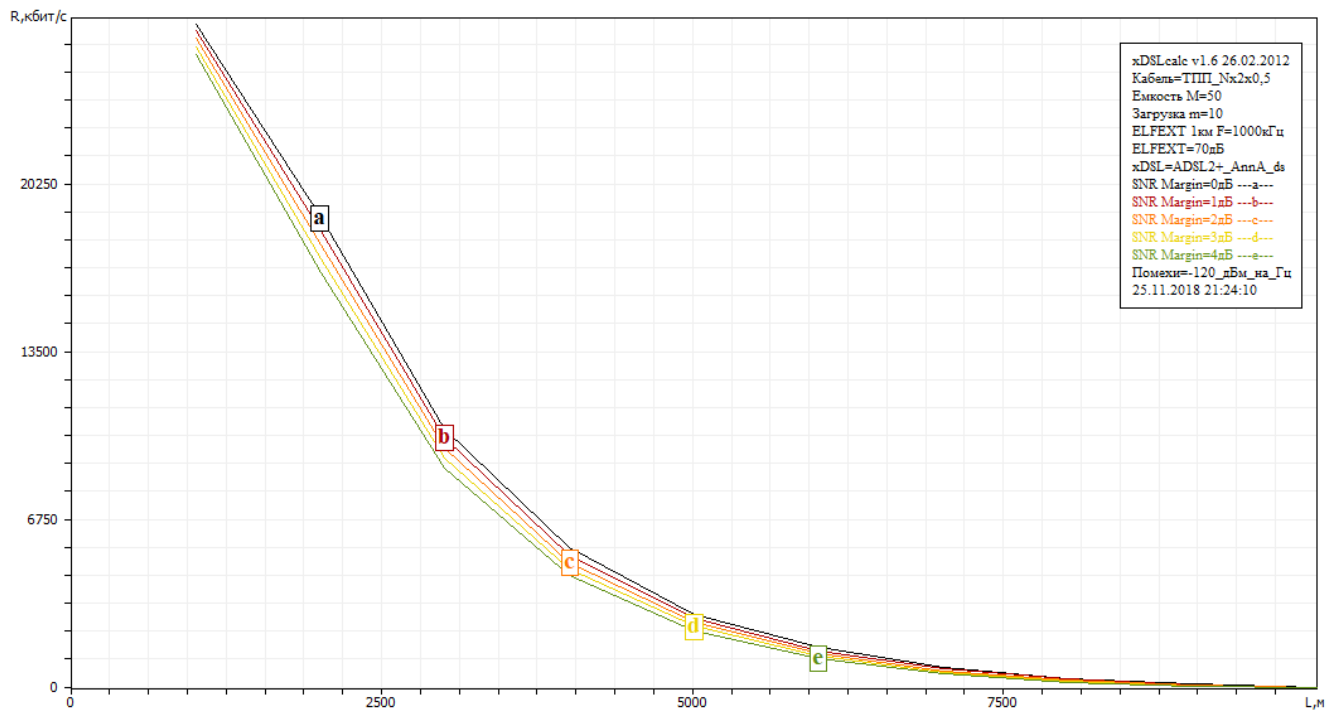
На рис. 4.5 зображено швидкість ADSL2+, ADSL2 і ADSL з перехідними завадами для кількості одночасно працюючих ліній в кабелі($m = 10$) при нормі $\text{ELFEXT}(F=1000\text{кГц}) = 70\text{дБ}$



	$L, \text{м}$	$R, \text{кбит/с}$ ADSL2+_AnnA_ds.DMT	$R, \text{кбит/с}$ ADSL2_AnnA_ds.DMT	$R, \text{кбит/с}$ ADSL_AnnA_ds.DMT
1	1000	5900	4268	4256
2	2000	3920	3368	3368
3	3000	2908	2796	2796
4	4000	2056	2056	2056
5	5000	1356	1356	1352
6	6000	840	840	840
7	7000	460	460	452
8	8000	204	204	196
9	9000	48	48	48
10	10000	0	0	0

Рисунок 4.6 Швидкість ADSL2+, ADSL2 і ADSL під впливом перехідних завад на аварійній ділянці

На рис. 4.6 зображено швидкість ADSL2+, ADSL2 і ADSL з перехідними завадами для кількості одночасно працюючих ліній в кабелі($m = 10$) на аварійній ділянці при $\text{ELFEXT}(F=1000\text{кГц}) = 30\text{дБ}$.



	$L, \text{м}$	$R, \text{кбит/с}$ SNR Margin=0дБ	$R, \text{кбит/с}$ SNR Margin=1дБ	$R, \text{кбит/с}$ SNR Margin=2дБ	$R, \text{кбит/с}$ SNR Margin=3дБ	$R, \text{кбит/с}$ SNR Margin=4дБ
1	1000	26672	26440	26128	25768	25480
2	2000	18908	18372	17836	17276	16700
3	3000	10428	10052	9636	9224	8852
4	4000	5640	5336	5040	4772	4504
5	5000	2968	2784	2628	2464	2308
6	6000	1604	1484	1384	1288	1180
7	7000	820	748	680	620	560
8	8000	376	336	296	256	224
9	9000	128	112	88	64	52
10	10000	16	12	4	0	0

Рисунок 4.7 Швидкість ADSL2+ під впливом перехідних завад при різних значеннях стійкості

На рис. 4.7 зображено швидкість ADSL2+ з перехідними завадами для кількості одночасно працюючих ліній в кабелі($m = 10$) при нормі

$ELFEXT(F=1000\text{кГц}) = 70\text{дБ}$ при різних значеннях стійкості яка характеризується величиною запасу перешкодозахищеності SNR Margin.

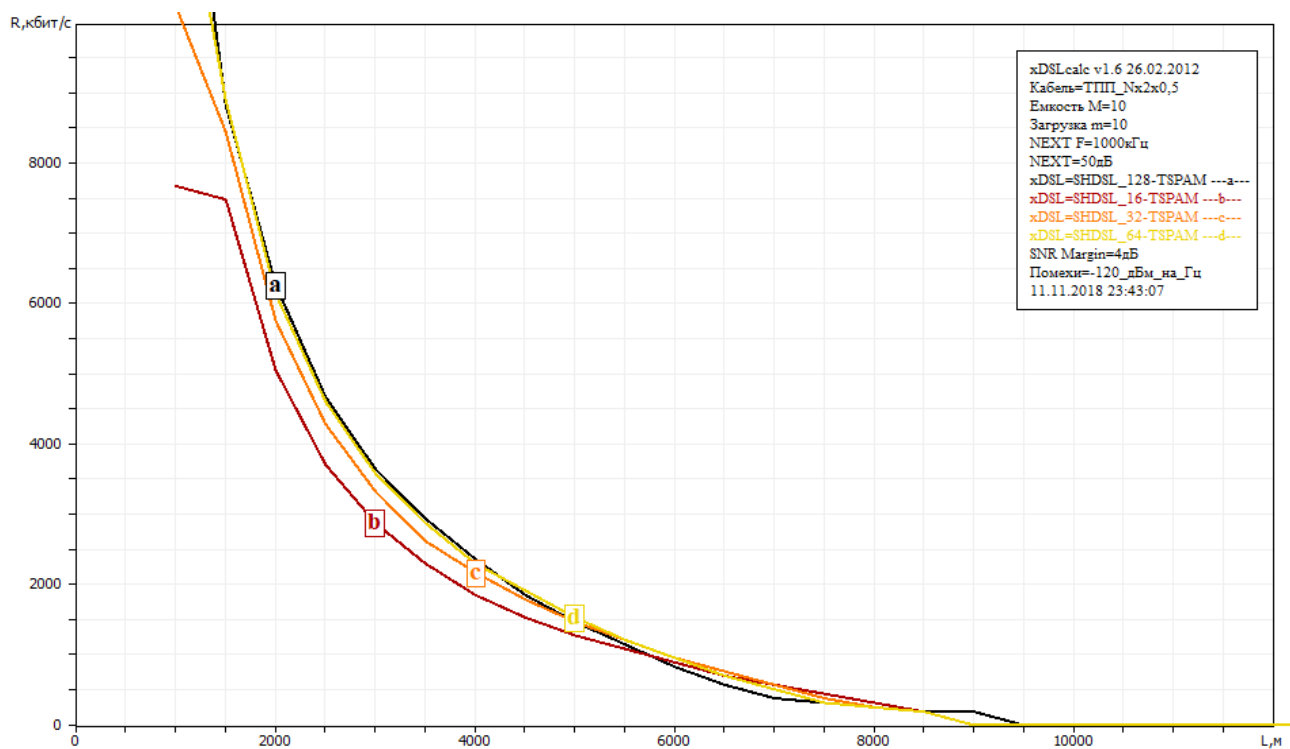


	$L, \text{м}$	$R, \text{кбит/с}$ SNR Margin=0дБ	$R, \text{кбит/с}$ SNR Margin=1дБ	$R, \text{кбит/с}$ SNR Margin=2дБ	$R, \text{кбит/с}$ SNR Margin=3дБ	$R, \text{кбит/с}$ SNR Margin=4дБ
1	1000	8432	7820	7192	6508	5900
2	2000	6412	5784	5112	4496	3920
3	3000	4476	4076	3672	3272	2908
4	4000	3128	2836	2564	2308	2056
5	5000	1992	1820	1656	1504	1356
6	6000	1244	1136	1032	932	840
7	7000	704	644	584	508	460
8	8000	356	308	268	236	204
9	9000	128	104	84	64	48
10	10000	16	8	4	0	0

Рисунок 4.8 Швидкість ADSL2+ під впливом перехідних завад на аварійній ділянці при різних значеннях стійкості

На рис. 4.8 зображено швидкість ADSL2+ з перехідними завадами для кількості одночасно працюючих ліній в кабелі($m = 10$) на аварійній ділянці при

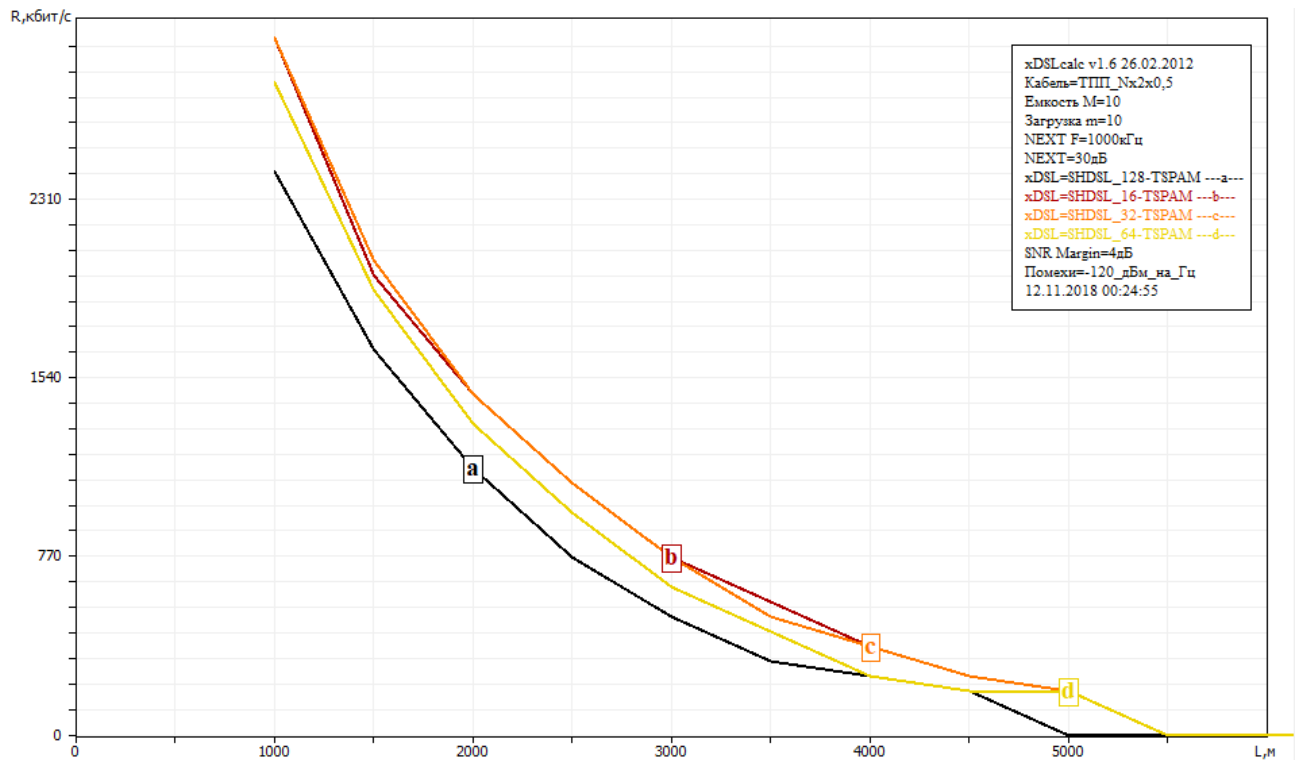
ELFEXT($F=1000\text{кГц}$) = 30дБ при різних значеннях стійкості яка характеризується величиною запасу перешкодозахищеності SNR Margin.



	$L, \text{м}$	$R, \text{кбит/с}$ SHDSL_128-TSPAM.PAM	$R, \text{кбит/с}$ SHDSL_16-TSPAM.PAM	$R, \text{кбит/с}$ SHDSL_32-TSPAM.PAM	$R, \text{кбит/с}$ SHDSL_64-TSPAM.PAM
1	1000	14144	7680	10240	12800
2	1500	8832	7488	8448	8896
3	2000	6272	5056	5760	6144
4	2500	4672	3712	4288	4608
5	3000	3648	2880	3328	3584
6	3500	2944	2304	2624	2880
7	4000	2368	1856	2176	2304
8	4500	1856	1536	1792	1920
9	5000	1472	1280	1472	1536
10	5500	1152	1088	1216	1216
11	6000	832	896	960	960
12	6500	576	704	768	704
13	7000	384	576	576	512
14	7500	320	448	384	320
15	8000	256	320	256	256
16	8500	192	192	192	192
17	9000	192	0	0	0
18	9500	0	0	0	0

Рисунок 4.9 Швидкість SHDSL(ТСПАМ-16, 32, 64, 128) під впливом перехідних завад

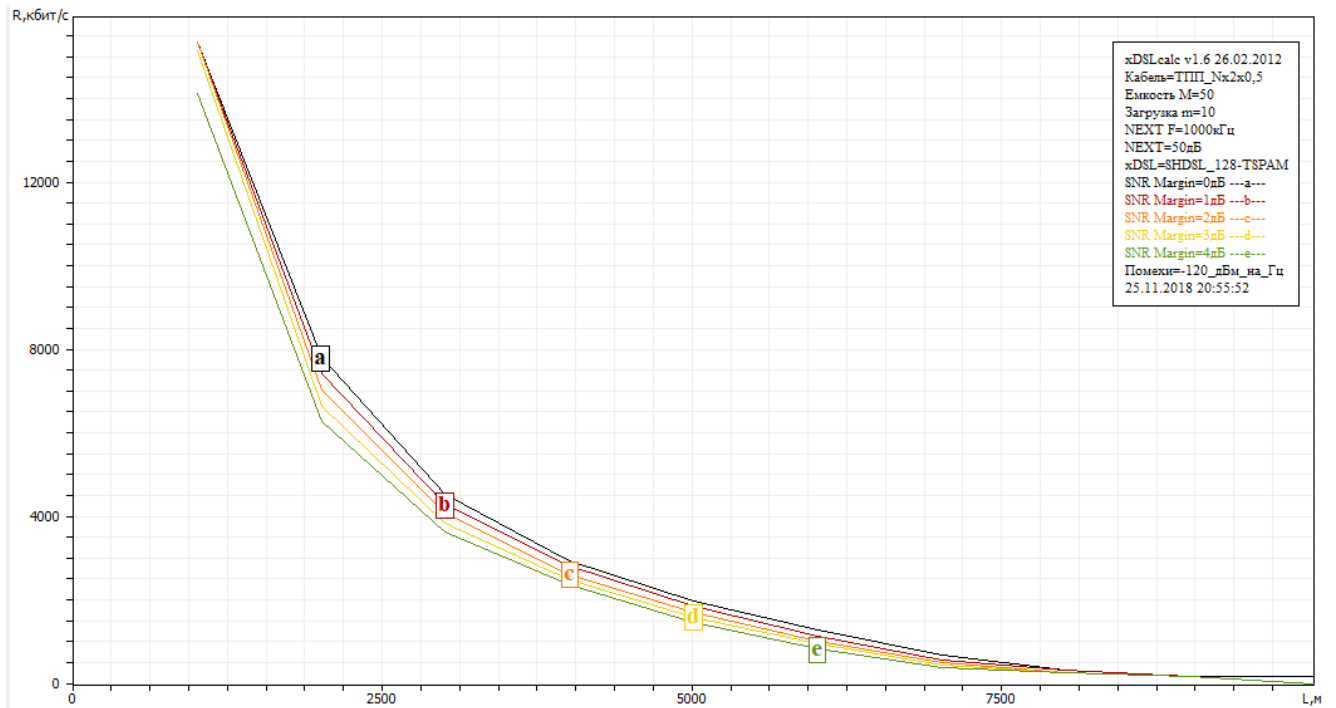
На рис. 4.9 зображено швидкість SHDSL при різних типах модуляції з перехідними завадами для кількості одночасно працюючих ліній в кабелі ($m = 10$) при нормі NEXT($F=1000\text{кГц}$) = 50дБ



	L,м	R,кбит/с SHDSL_128-TSPAM.PAM	R,кбит/с SHDSL_16-TSPAM.PAM	R,кбит/с SHDSL_32-TSPAM.PAM	R,кбит/с SHDSL_64-TSPAM.PAM
1	1000	2432	3008	3008	2816
2	1500	1664	1984	2048	1920
3	2000	1152	1472	1472	1344
4	2500	768	1088	1088	960
5	3000	512	768	768	640
6	3500	320	576	512	448
7	4000	256	384	384	256
8	4500	192	256	256	192
9	5000	0	192	192	192
10	5500	0	0	0	0

Рисунок 4.10 Швидкість SHDSL(TCPAM-16, 32, 64, 128) під впливом перехідних завад на аварійній ділянці

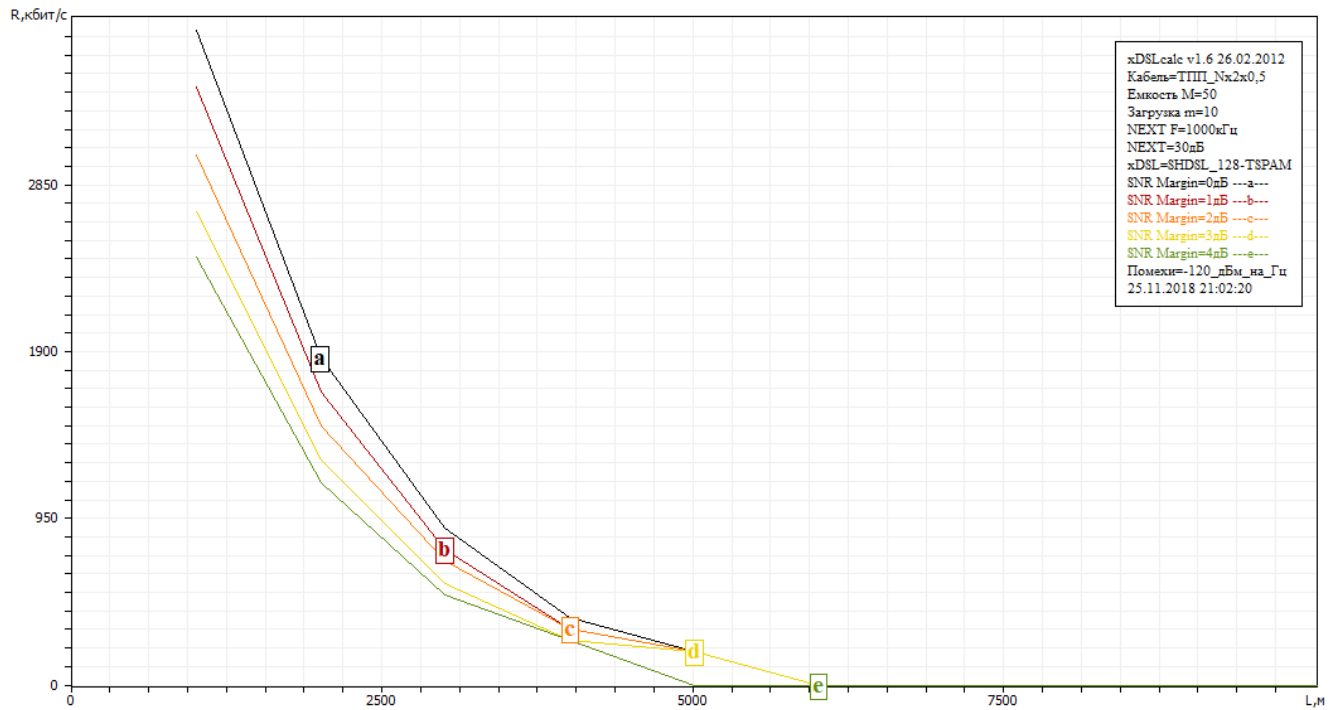
На рис. 4.10 зображено швидкість SHDSL при різних типах модуляції з перехідними завадами для кількості одночасно працюючих ліній в кабелі($m = 10$) на аварійній ділянці при NEXT($F=1000\text{кГц}$) = 30дБ.



	L, м	R, кбит/с SNR Margin=0дБ	R, кбит/с SNR Margin=1дБ	R, кбит/с SNR Margin=2дБ	R, кбит/с SNR Margin=3дБ	R, кбит/с SNR Margin=4дБ
1	1000	15360	15360	15360	15168	14144
2	2000	7808	7424	7040	6656	6272
3	3000	4544	4288	4096	3840	3648
4	4000	2944	2816	2624	2496	2368
5	5000	1984	1856	1728	1600	1472
6	6000	1280	1152	1024	960	832
7	7000	704	576	512	448	384
8	8000	320	320	256	256	256
9	9000	192	192	192	192	192
10	10000	192	0	0	0	0

Рисунок 4.11 Швидкість SHDSL TCPAM-128 під впливом перехідних завад при різних значеннях стійкості

На рис. 4.11 зображено швидкість SHDSL при модуляції TCPAM-128 з перехідними завадами для кількості одночасно працюючих ліній в кабелі ($m = 10$) при нормі $\text{NEXT}(F=1000\text{кГц}) = 50\text{дБ}$ при різних значеннях стійкості яка характеризується величиною запасу перешкодозахищеності SNR Margin.



	L, м	R, кбит/с SNR Margin=0дБ	R, кбит/с SNR Margin=1дБ	R, кбит/с SNR Margin=2дБ	R, кбит/с SNR Margin=3дБ	R, кбит/с SNR Margin=4дБ
1	1000	3712	3392	3008	2688	2432
2	2000	1856	1664	1472	1280	1152
3	3000	896	768	704	576	512
4	4000	384	320	320	256	256
5	5000	192	192	192	192	0
6	6000	0	0	0	0	0
7	7000	0	0	0	0	0
8	8000	0	0	0	0	0
9	9000	0	0	0	0	0
10	10000	0	0	0	0	0

Рисунок 4.12 Швидкість SHDSL TCPAM-128 під впливом перехідних завад на аварійній ділянці при різних значеннях стійкості

На рис. 4.12 зображено швидкість SHDSL при модуляції TCPAM-128 з перехідними завадами для кількості одночасно працюючих ліній в кабелі ($m = 10$) на аварійній ділянці при NEXT ($F=1000\text{кГц}$) = 30дБ при різних значеннях стійкості яка характеризується величиною запасу перешкодозахищеності SNR Margin.

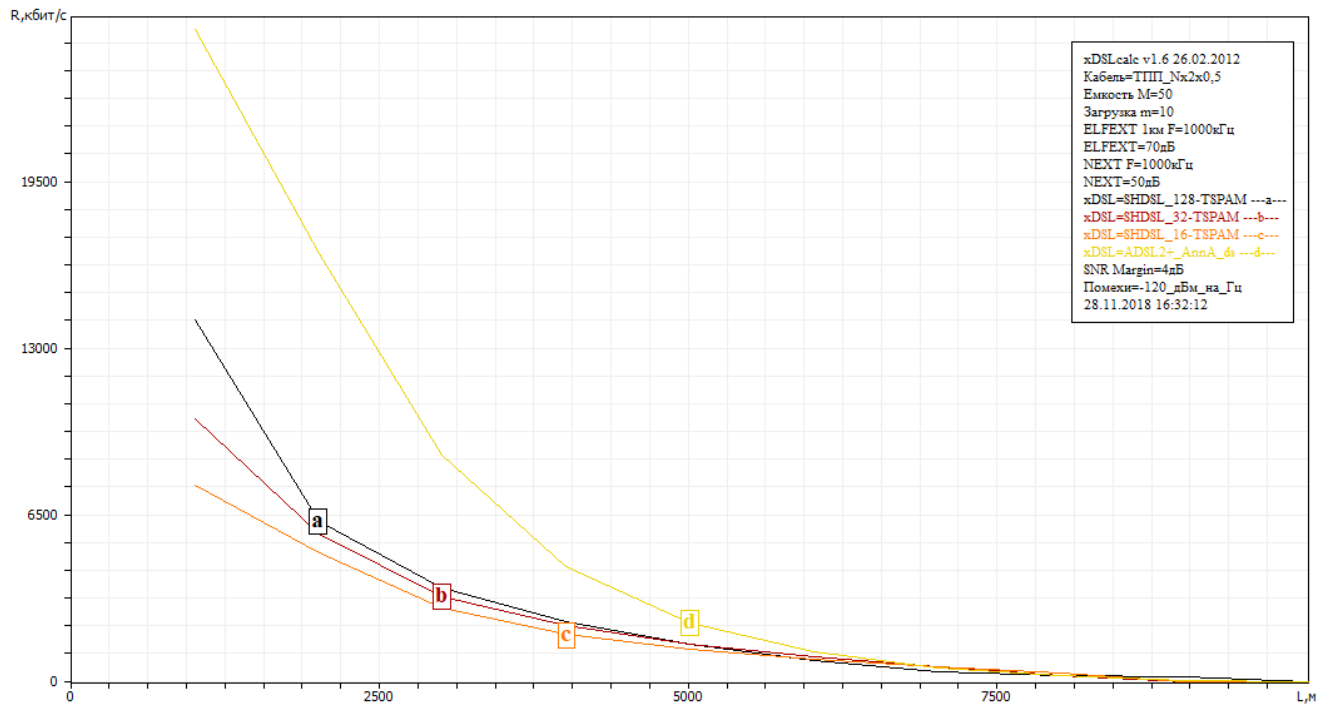
4.3 Порівняння змін швидкостей SHDSL і ADSL при різних параметрах



	L, м	R, кбит/с SHDSL_128-TSPAM.PAM	R, кбит/с SHDSL_32-TSPAM.PAM	R, кбит/с SHDSL_16-TSPAM.PAM	R, кбит/с ADSL2+_AnnA_ds.DMT
1	1000	15360	10240	7680	25668
2	2000	15360	10240	7680	16772
3	3000	10624	8896	7424	8864
4	4000	6592	5440	4480	4504
5	5000	4480	3712	3072	2308
6	6000	3200	2688	2240	1180
7	7000	2304	1984	1664	560
8	8000	1600	1472	1280	224
9	9000	960	1024	896	52
10	10000	448	640	640	0

Рисунок 4.13 Швидкість xDSL ліній під впливом тільки теплових шумів

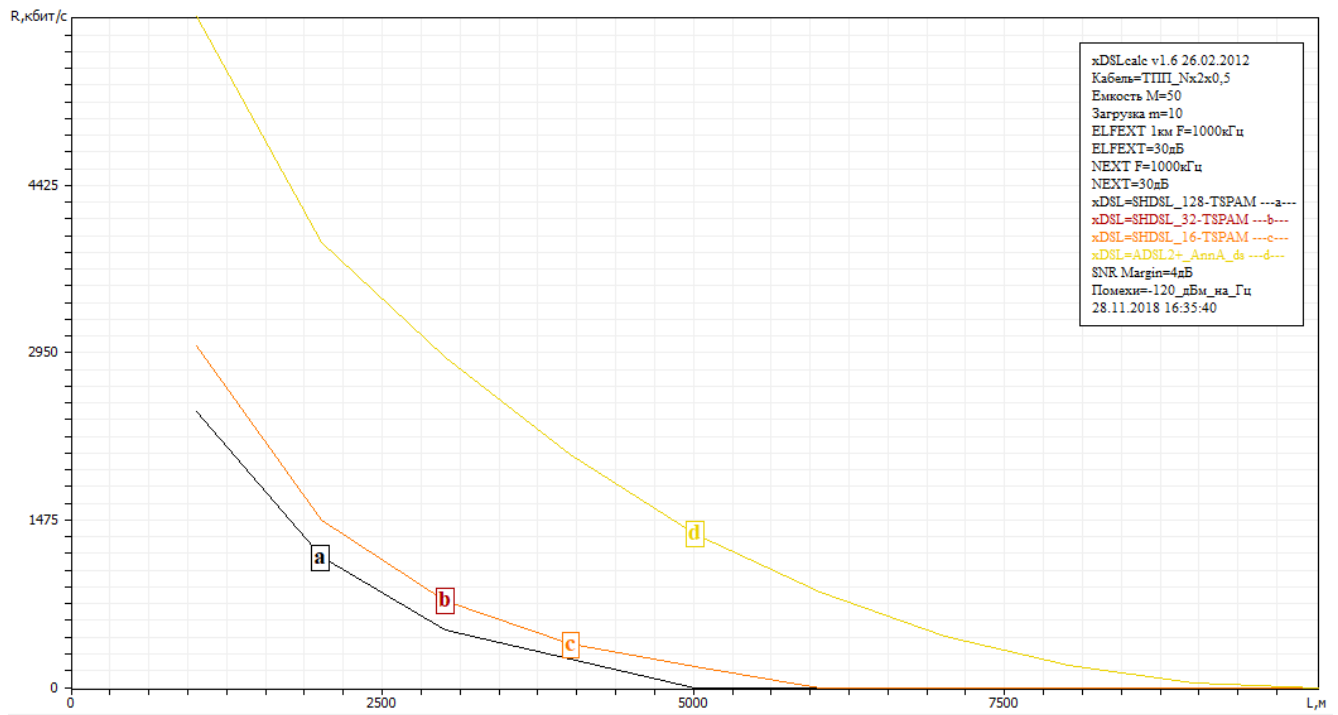
На рис. 4.13 зображено швидкості SHDSL при різних типах модуляції (TSPAM – 16, 32, 128) і ADSL2+ під впливом тільки теплових шумів і при нормальних умовах.



	L, м	R, кбит/с SHDSL_128-TSPAM.PAM	R, кбит/с SHDSL_32-TSPAM.PAM	R, кбит/с SHDSL_16-TSPAM.PAM	R, кбит/с ADSL2+_AnnA_ds.DMT
1	1000	14144	10240	7680	25480
2	2000	6272	5760	5056	16700
3	3000	3648	3328	2880	8852
4	4000	2368	2176	1856	4504
5	5000	1472	1472	1280	2308
6	6000	832	960	896	1180
7	7000	384	576	576	560
8	8000	256	256	320	224
9	9000	192	0	0	52
10	10000	0	0	0	0

Рисунок 4.14 Швидкість xDSL ліній під впливом перехідних завад

На рис. 4.14 зображено швидкості SHDSL при різних типах модуляції (TSPAM – 16, 32, 128) і ADSL2+ під впливом перехідних завад для кількості одночасно працюючих ліній в кабелі ($m = 10$) і при нормальних умовах.



	L, м	R, кбит/с SHDSL_128-TSPAM.PAM	R, кбит/с SHDSL_32-TSPAM.PAM	R, кбит/с SHDSL_16-TSPAM.PAM	R, кбит/с ADSL2+_AnnA_ds.DMT
1	1000	2432	3008	3008	5900
2	2000	1152	1472	1472	3920
3	3000	512	768	768	2908
4	4000	256	384	384	2056
5	5000	0	192	192	1356
6	6000	0	0	0	840
7	7000	0	0	0	460
8	8000	0	0	0	204
9	9000	0	0	0	48
10	10000	0	0	0	0

Рисунок 4.15 Швидкість xDSL ліній під впливом перехідних завад на аварійній ділянці

На рис. 4.15 зображено швидкості SHDSL при різних типах модуляції (TSPAM – 16, 32, 128) і ADSL2+ під впливом перехідних завад для кількості одночасно працюючих ліній в кабелі ($m = 10$) на аварійній ділянці.

4.4 Висновки до розділу 4

У даному розділі були проведені дослідження потенційних можливостей технологій SHDSL і ADSL при зміні різних параметрів таких як: NEXT, FEXT і кількість одночасно діючих пар в кабелі. Дослідження проводились для SHDSL при різних типах модуляції (TCРAM-16, 32, 64, 128) і ADSL, ADSL2, ADSL2+ при AnnA. Також були проведені дослідження при різних показниках запасу завадозахищеності SNR Margin.

Перехідні завади суттєво знижують перепускную здатність xDSL-ліній. Основними методами зниження впливу перехідних завад є підтримання параметрів кабельних ліній у межах норм та підбір пар у кабелі для одночасної роботи певної кількості xDSL-ліній.

РОЗДІЛ 5. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПІДГОТОВКИ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ ДЛЯ РОБОТИ xDSL-СИСТЕМ

5.1 Перелік підготовчих робіт та рекомендації, щодо їх організації

Необхідною умовою успішної роботи xDSL-лінії є відповідність нормам електричних параметрів всіх пристроїв, які входять до її складу кабелю, муфт, розподільних шаф, боксів, коробок, кросування і xDSL-обладнання.

У табл. 5.1 наведені основні причини, які обмежують використання АЛ існуючої телефонної мережі в складі xDSL-ліній.[3]

Таблиця 5.1 - основні причини, які обмежують використання АЛ існуючої телефонної мережі в складі xDSL-ліній

Причини	Заходи усунення
Неякісні контакти з'єднань жил кабелів АЛ	<ul style="list-style-type: none"> • Перехід від ручної скрутки жил в муфтах до техніки з'єднань жил врізних контактів • Використання в розподільних коробках і розподільних шафах плінтів з врізними контактами • Герметизація з'єднань струмопровідних жил
Бруд і волога в плінтах розподільних коробок і розподільних шаф	<ul style="list-style-type: none"> • Чистка зволжених і забруднених плінтів • Покриття плінтів вологозахисним шаром • Герметизація розподільних коробок і шаф
Попадання вологи під оболонку	<ul style="list-style-type: none"> • Введення в серцевину кабеля рідкого, повільно полімеризуючого гідрофобного заповнювача • Заміна промокшої ділянки кабеля герметизованим • Заміна неякісних муфт

Кросовані провода в розподільних шафах і кросах	<ul style="list-style-type: none"> • Застосування кросованих проводів зі значно меншим кроком скрутки • Застосування екранованих проводів з обов'язковим заземленням екрану
“Розбитість” пар в муфтах	<ul style="list-style-type: none"> • Перемонтаж муфт із застосуванням індивідуальних і групових механічних з'єднувачів жил
Використання для абонентської проводки кабелів з некрученими жилами	<ul style="list-style-type: none"> • Заміна кабелів ТРП, ТРВ кабелем типу “кручена пара”
Відсутність неперервності екрану по всій довжині кабелю	<ul style="list-style-type: none"> • Пошук місця обриву екрану і його відновлення • Відновлення нерервності неізолюваної жили під алюмінієвою стрічкою екрану
Підвищена величина опору звземлення металеві оболонки або екрану кабеля	<ul style="list-style-type: none"> • Перевірка справності заземлення і його зєднання з металеві оболонкою або екланом • Заземлення металеві оболонки або екрану кабеля в кросі

Для використання існуючих телефонних АЛ в складі xDSL ліній необхідно виконати наступні види робіт на лінійних спорудах місцевої телефонної мережі:[3]

1. Вимірювання електричних (низькочастотних і високочастотних) характеристик АЛ.
2. Усунення неякісних контактів з'єднань в АЛ.
3. Видалення вологи з замкшних кабелів розподільчої мережі.
4. Усунення розбитості пар в муфтах.
5. Заміна кабелів абонентської проводки ТРП, ТРВ.

6. Герметизація муфт і відновлення оболонки кабелів «холодним» способом за допомогою композиційних «компресійних» муфт (при прокладанні нових і ремонті пошкоджених абонентських ліній).
7. Забезпечення цілісності екрану і екранної жили по всій довжині кабелю в кожній муфті.
8. Виключення зі складу АЛ паралельно підключених відрізків кабелів, пупиновських котушок.
9. Заміна кросування в розподільних шафах.
10. Зменшення рівня перешкод.

У разі, якщо після проведення всіх цих робіт з'ясувалася неможливість приведення параметрів АЛ до норм, необхідно перекривати несправну пару кабелю на справну або замінити неякісні ділянки АЛ, муфти, розподільні коробки, шафи, бокси і обладнання кросу.[3]

5.2 Методи покращення характеристик кабельних ліній

З'єднання жил в муфтах.

Струмопровідні жили кабелів місцевого телефонного зв'язку з поліетиленовою ізоляцією з'єднують ручним скручуванням і за допомогою механічних з'єднувачів. Ручне скручування призводить до того, що з часом опір з'єднання жил збільшується через окислення і може досягати величини 200 ... 900 мОм. При цьому величина опору змінюється в залежності від амплітуди сигналу, що призводить до додаткової модуляції сигналу. Зміна опору з'єднання жил збільшує омичну асиметрію лінії, що, в свою чергу, призводить до збільшення взаємних впливів між парами кабелю. Для надійної роботи систем передачі по кабелях місцевого зв'язку опір з'єднання не повинен перевищувати 25 мОм. Зменшення опору з'єднання жил до норми досягається застосуванням врізного контакту за допомогою одно- і багатожильних механічних з'єднувачів. Вони забезпечують просту і економічну технологію з'єднання, яка скорочує час будівництва, реконструкції та ремонту мережі АЛ.[3]

Герметизація з'єднань струмопровідних жил.

Необхідність герметизації з'єднання зростку жил викликана впливом вологи на параметри передачі і взаємного впливу між парами кабелю. Волога в місці з'єднання жил з'являється в результаті дифузії парів через пластмасову оболонку і в результаті проникнення вологи з навколишнього середовища (пошкодження оболонки кабелю або муфти, разгерметизація кабелю в кінцевих пристроях). Герметизація з'єднань жил здійснюється із застосуванням механічних з'єднувачів з гідрофобним заповненням всередині корпусу, механічних з'єднувачів, поміщених в капсулу з гідрофобним заповнювачем.[3]

Для герметизації з'єднань жил в муфті і відновлення оболонок кабелю застосовують дві технології - «гарячу» і «холодну». При «гарячому» способі відновлення оболонок використовують наплавлення вмощуємої стрічки з поліетилену під стіклострічкою або термонасадкові трубки і манжети. Застосування цього способу пов'язано з застосуванням відкритого вогню і процесу нагрівання. Слід звернути увагу на те, що при охолодженні термовмощуємих манжет всередині муфти утворюється конденсат, який покриває всі конструктивні елементи муфти. «Холодний» метод передбачає використання стрічкових, компаундних і механічних муфт. Використання стрічкових і механічних муфт усуває недоліки «гарячого» методу, але не вирішує проблему відновлення гідрофобного заповнювача. Останнього недоліку позбавлений спосіб монтажу з використанням компаундних «компресійних» муфт. Ці муфти забезпечують повну вологонепроникність і захист з'єднань жил від вологи. Після з'єднання всіх жил за допомогою механічних з'єднувачів зросток і краю оболонки обмотують пластиковим листом, утворюючи ємність, яку заповнюють гелем. Далі кабельник поверх пластикового листа намотує еластичну стрічку, створюючи надмірний тиск до 50 кПа. В результаті цього гель проникає в серцевину кабелю по обидві сторони від кінців муфти, чим і створюється повна його герметизація. Цей метод герметизації муфт рекомендується для використання як на кабелях з гідрофобним заповненням, так і на кабелях без гідрофобного заповнення.[3]

Видалення вологи з-під оболонки кабелю

Технологія полягає у витісненні волги, що знаходиться під оболонкою кабелю, в результаті тиску гідрофобного заповнювача. Заповнення повітряного простору в осерді кабелю заповнювачем призводить до відновлення опору ізоляції та параметрів взаємного впливу до нормативних значень. Введення гідрофобного заповнювача призводить до збільшення робочої і часткової ємностей, а також робочого загасання пари. Робоча ємність пар при цьому збільшується на 10 ... 15%. В цілому після видалення вологи кабель має властивості кабелю з гідрофобним заповненням. До переваг застосування технології видалення волги відносяться: майже повне відновлення опору ізоляції кабелю, економія коштів (в порівнянні з придбанням нового заповненого кабелю в 6 ... 9 разів), малий час перерви зв'язку (1 ... 2 хвилини на з'єднання пари), відмова від застосування пристроїв за змістом магістральних кабелів під надлишковим повітряним тиском, збільшення терміну експлуатації.[3]

5.3 Правила відбору пар у багатопарних міських кабелів для роботи xDSL-систем

Нижче розглянуті три підходи до вирішення питання відбору пар для підключення обладнання xDSL. Перший підхід заснований на виконанні вимірювань перехідних загасань на ближньому кінці в десятипарному кабелі пучкового скручування. Другий підхід зводиться до того що у визначенні послідовності завантаження пар багатопарного кабелю сигналами xDSL з урахуванням статистики, яка описує залежність перехідних загасань від взаємного розташування пар. Іншими словами, другий підхід заснований на розрахунку рівня перешкод в кожній парі кабелю з урахуванням впливу всіх інших взаємовпливаючих пар. Критерієм вибору першої і наступних пар є розраховане мінімальне значення рівня перешкод при впливі всіх інших пар. При розрахунках використовувалися середні значення перехідних загасань між парами кабелів з повивною і пучковою скручуванням сердечника. Результати відбору пар в кабелях з повивною і пучковою скручуванням, виконаного відповідно до другого підходу.[3]

Накінець, третій підхід, що реалізується аналізаторами мереж абонентського доступу, наприклад, аналізатором систем передачі і кабелів зв'язку AnCom A-7, полягає в тому, що під час вимірювань аналізатор здійснює контроль пари за кількома параметрами, визначаючи їх відповідність системі норм, що огортає погонні параметри кабелю, частотні характеристики загасання, узгоджуваності і симетрії, рефлектограмму, спектр перешкод і швидкісний потенціал пари стосовно технологіям ADSL, ADSL2, ADSL2 +, SHDSL. Результати контролю дозволяють кваліфікувати пару як якісно (Норма / Чи не норма), так і кількісно - величиною запасу відповідності.[3]

5.3.1 Відбір пар в кабелях за результатами вимірювань перехідного загасання на ближньому кінці

Практика оцінки пригодності пар кабелю для цифрового ущільнення заснована на тестуванні пар, що вимірюються параметрами ланцюга на постійному струмі, загасання і шумовим характеристикам. При малих зовнішніх електромагнітних впливах основним джерелом шумів є обладнання xDSL, що працює по сусіднім парам кабелю. Рівень перешкод, створюваний роботою обладнання xDSL, визначається перехідним загасанням в кабелі. Найбільший рівень шумів спостерігається в десятипарному пучку кабеля абонентської лінії з боку абонента. Для відбору ланцюгів абонентських ліній в десятипарному кабелі використовується пристрій автоматичного відбору пар ТКП (тестер кабельних пар), який випускається по ТУ 4221-001-23133837-02. Відбір пар проводиться за результатами вимірювань перехідного загасання на ближньому кінці між усіма парами пучка в десятипарній розподільній коробці.[3] У приладі реалізований алгоритм відбору пар на діючих і споруджуваних лініях для підключення обладнання xDSL, який реалізує наступні функції:

- перевірку всіх пар на відповідність величиною електричного опору шлейфу;
- вивід на блок індикації номерів пар, які не відповідають вимозі щодо опору шлейфу;

- оцінку перехідного загасання на ближньому кінці між усіма відібраними по опору шлейфу парами кабелю на відповідність встановленому оператором порогу;
- відбір пар, у яких перехідне загасання на ближньому кінці більше або дорівнює встановленому оператором порогу;
- вивід на блок індикації номерів відібраних пар.

5.3.2 Відбір пар в кабелях з повивною побудовою сердечника

В кабелях з повивною побудовою сердечника пари скручені між собою жил розташовуються в осерді в повивах, концентрично розташованих один відносно одного. У кожному повиві рахункова і спрямовуюча пари виділяються своїм кольором ізоляції жил. Цікавим є визначення послідовності підключення обладнання xDSL до пар багатопарного кабелю, при якому забезпечується мінімальний сумарний рівень перехідних перешкод на ближньому кінці кожної з пар. З цією метою була розроблена програма розрахунку сумарних перешкод, яка дозволила визначити порядок завантаження багатопарних кабелів ємністю до 100 пар.[3]

На рис. 5.1 в гуртках малого діаметра, які символізують пари, вписані дві цифри. Верхня цифра в чисельнику означає номер пари, а нижня - порядковий номер підключення пари до обладнання xDSL. Порядок завантаження складається з кроків і являє собою черговість відбору пар кабелю для підключення обладнання xDSL. На першому кроці вибирається та пара кабелю, в якій за результатами розрахунку можливого впливу всіх оточуючих пар рівень перешкоди повинен бути мінімальним. Так, наприклад, для кабелю з повивною скруткою сердечника ємністю 10x2 на першому кроці вибирається пара № 3, в разі необхідності вибору другої і третьої пар для підключення обладнання xDSL в цьому ж кабелі вибираються пари № 7 і № 0.[3]

В кабелях ємністю понад 100 пар відбір пар проводиться за наступним правилом.

1. Якщо необхідна кількість пар для підключення xDSL- обладнання менша кількості повивів в осерді кабелю, то пари вибирають так, щоб найближчі використовувані повиви розташовувались на максимальній відстані один від одного.

2. Якщо необхідна кількість пар для підключення xDSL- обладнання більше кількості повивів в осерді кабелю, то спочатку вибирають по одній парі в кожному повиві, а потім пари що залишились вибирають на максимальній відстані один від одного всередині повиву.[3]

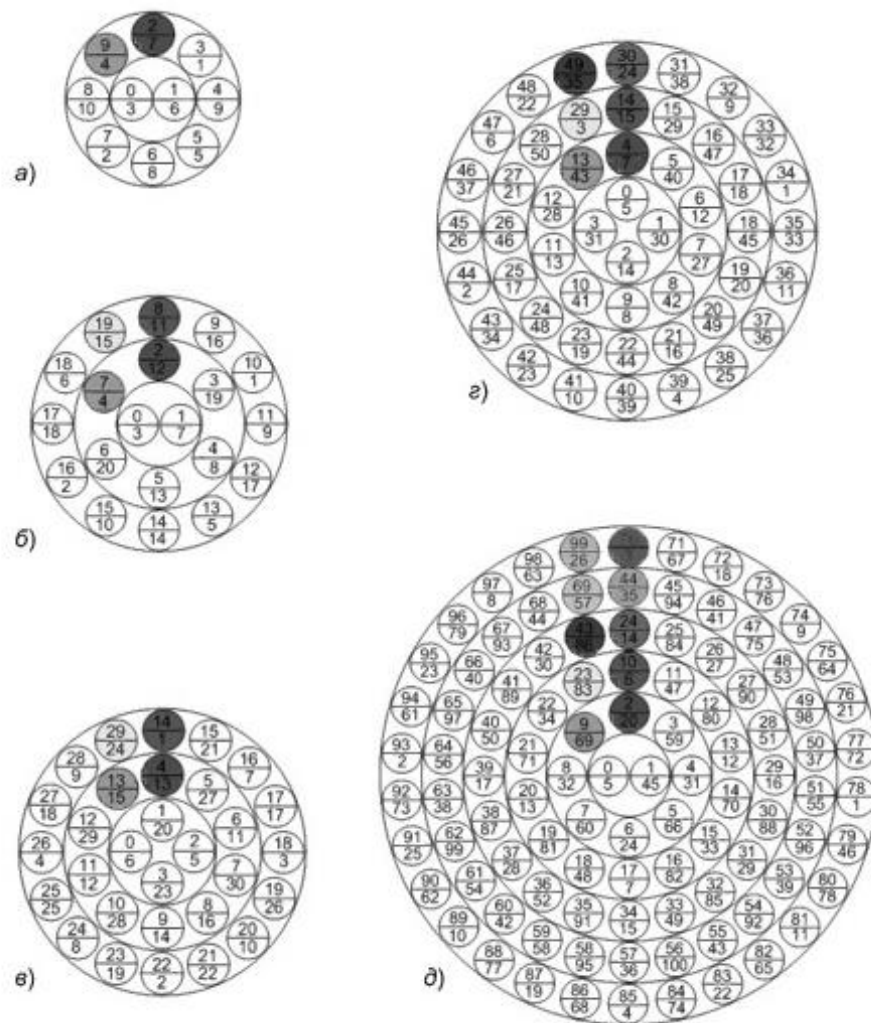


Рисунок 5.1 Порядок завантаження кабелю повивної скрутки ємністю 10 пар (а), 20 пар (б), 30 пар (в), 50 пар (г), 100 пар (д)

5.3.3 Відбір пар в кабелях з пучковою побудовою сердечника

Жили однієї пари кабелю мають ізоляцію з різко відрізняючимся кольором. Окремі пари скручуються в п'яти- або десятипарні (елементарні) пучки. Забарвлення ізоляції жил а й б у елементарному пучку і скріплюючих обмоток або ідентифікаційних стрічок в п'ятдесяти або стопарних (головних) пучках приведена в табл. 5.2.[3]

Таблиця 5.2 - Забарвлення ізоляції жил а й б у елементарному пучку і скріплюючих обмоток або ідентифікаційних стрічок в п'ятдесяти або стопарних (головних) пучках

Номер пари/елементарного пучка	Колір		
	Ізоляції жил пари		Скріплюючої обмотки або ідентифікаційної стрічки
	Жила а	Жила б	
0	Білий	Синій	Голубий
1	Білий	Оранжевий	Оранжевий
2	Білий	Зелений	Зелений
3	Білий	Коричневий	Коричневий
4	Білий	Сірий	Сірий
5	Червоний	Синій	Білий
6	Червоний	Оранжевий	Червоний
7	Червоний	Зелений	Чорний
8	Червоний	Коричневий	Жовтий
9	Червоний	Сірий	Фіолетовий

На рис. 5.2 наведені умовні поперечні перерізи сердечників кабелів ємністю 10,20,30,50 і 100 пар з пучковим способом побудови. Поперечний переріз сердечника кабелю зображується набором секторів, колір яких збігається з кольором скріплюючої стрічки. Кольори скріплюючих обмоток або ідентифікаційних стрічок приведені в табл. 5.2. Для визначення місця розташування шуканої пари в поперечному перерізі кабелю з пучковим способом побудови сердечника необхідно спочатку вибрати необхідний поперечний переріз кабелю (рис. 5.2), потім сектор поперечного перетину (елементарний пучок), в якому опинилася шукана пара (рис. 5.2 і / або табл. 5.2), а далі визначити колір ізоляції жил шуканої пари (табл. 5.2).[3]

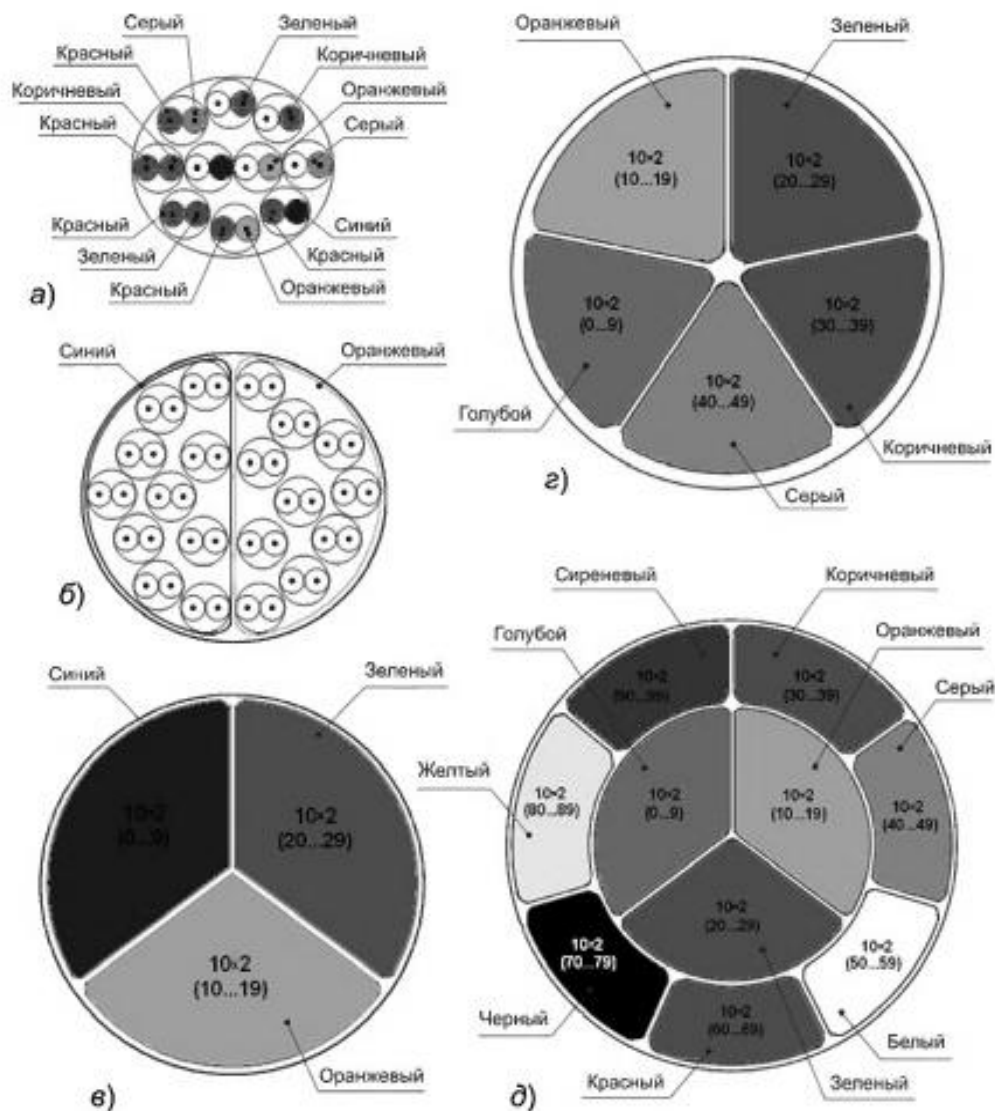


Рисунок 5.2 Поперечний переріз сердечника кабелю пучкового скручування ємністю 10 пар (а), 20 пар (б), 30 пар (в), 50 пар (г) і 100 пар (д)

В кабелях ємністю понад 100 пар відбір пар виконується відповідно наступних правил.

1. Якщо необхідну кількість пар для підключення xDSL- обладнання менша кількості пучків в осерді кабелю, то пари вибираються в різних пучках так, щоб найближчі використовувані пучки розташовувались на максимальній відстані один від одного.

2. Якщо необхідну кількість пар для підключення xDSL- обладнання більша кількості пучків в осерді кабелю, то спочатку вибирають по одній парі в кожному пучку, а потім пари які залишились вибирають так, щоб кількість використовуваних пар у всіх пучках була однаковим (або відрізнялись на одиницю).[3]

5.4 Висновки до розділу 5

У даному розділі було розглянуто рекомендації щодо підготовки кабельних ліній для роботи xDSL систем, а також було розглянуто правила відбору кабелів:

- Відбір пар в кабелях за результатами вимірювань перехідного загасання на ближньому кінці;
- Відбір пар в кабелях з повивною побудовою сердечника;
- Відбір пар в кабелях з пучковою побудовою сердечника.

ВИСНОВКИ

У даній роботі були проведені дослідження потенціальних можливостей (максимальна швидкість при певних відомих параметрах) кабелів SHDSL при різних типах модуляції (TCРAM-16, 32, 64, 128) і ADSL, ADSL2, ADSL2+ при AnnA. Також було розглянуто фактори що впливають на передачу цифрових сигналів у мідному кабелі.

Розрахунки виконувались для міського кабелю ТПП 50 х 2 х 0,5 на основі рекомендацій по нормуванню параметрів впливу за допомогою програми xDSLcalc в якій є всі необхідні параметри для даного дослідження.

Було розглянуто три правила відбору кабелів:

- Відбір пар в кабелях за результатами вимірювань перехідного загасання на ближньому кінці;
- Відбір пар в кабелях з повивною побудовою сердечника;
- Відбір пар в кабелях з пучковою побудовою сердечника.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технология HDSL – High-bit rate DSL (Высокоскоростная DSL) [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://doronin2004.narod.ru/rez_dr/bocheluk_su31/tema2_3.html.
2. О SHDSL технологии [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.rus.dynamix.ua/faq/shdsl/faq.htm>.
3. В.А. Балашов, А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецкий. Технологии широкополосного доступа xDSL. Инженерно-технический справочник / Под общей редакцией В.А. Балашова. – М.: Эко-Трендз, 2009. – 256 с.: ил.
4. SHDSL - технология симметричной передачи цифровых потоков [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://www.rus.dynamix.ua/prod/shdsl_tech.htm.
5. Как разгоняли G.fast: становление технологии [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://nag.ru/go/text/30454/>.
6. Конструкції кабелів зв'язку [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.znanius.com/3634.html>.
7. В.М. Горохов, В.А. Скаковский. Взаимное влияние линий ADSL и цифрового уплотнения. Подготовка и контроль линии. Методическое пособие. Тверь, 2009
8. Канал з міжсимвольною інтерференцією й адитивним шумом [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://studfiles.net/preview/1583222/page:7/>.
9. Зовнішні завади [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://studfiles.net/preview/5199112/page:29/>.
10. Амплітудно-частотна характеристика, смуга пропускання і загасання [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://studopedia.com.ua/1_22400_amplitudno-chastotna-harakteristika-smuga-propuskannya-i-zagasannya.html.

- 11.Причины возникновения сигнала эха [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://asterisk.ru/knowledgebase/Causes+of+Echo>.
- 12.Магістральні лінії зв'язку [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.klaster-plus.ua/ua/magistralnye-seti/>.
- 13.И.Г. Бакланов. Технологии ADSL/ADSL2+. Теория и практика применения. М: Метротек, 2007 – 394 с.: ил.
- 14.Г.Г. Бортник, В.М. Кичак, О.В. Стальченко. Системы доступа: підручник. Вінниця: ВНТУ, 2010. – 308с
- 15.Кочеров А.В. Расчет и контроль кабелей для цифровых линий SHDSL. М.: Вестник связи №4, 2012
- 16.Козак М. М. Лінійні споруди зв'язку / М. М. Козак. – Вінниця, 2009. – 317 с.